



# Call for Papers

**2024**  
Sexta edición



**SIECA**  
SECRETARÍA DE INTEGRACIÓN  
ECONÓMICA CENTROAMERICANA



**SICA**  
Sistema de la Integración  
Centroamericana





**Call for  
Papers** | **2024**  
Sexta edición



# Comité Coordinador

Fernando Colocho Navidad (SG-SICA)

Edith Flores (SIECA)

José Efraín Deras (BCIE)

# Comité Editorial

Fernando Colocho Navidad (SG-SICA)

Nadia Sara Zarzar (SG-SICA)

Edith Flores (SIECA)

Maykell Marengo (SIECA)

Axsell López Carrato (SIECA)

José Efraín Deras (BCIE)

Shirley Orellana (BCIE)

Natacha Kronzonas (BCIE)

# Contenido

<b>Prólogo institucional   sexta edición</b>	<b>6</b>
<b>Primer Lugar:</b> Efectos de los acuerdos comerciales en la subalimentación en la Región Centroamericana	<b>9</b>
<b>Segundo Lugar:</b> Formulación de un sucedáneo de chocolate fortificado con pulpa de carao ( <i>Cassia grandis</i> ) como anti-anémico de bajo costo para la región centroamericana	<b>35</b>
<b>Tercer Lugar:</b> Cambio global en América Central: desafíos socioambientales y oportunidades para la cooperación regional	<b>51</b>
<b>Mención Honorífica:</b> La Biodiversidad como Impulsor del Turismo Rural Comunitario: Una Experiencia para el Desarrollo en Tola, Nicaragua Diciembre, 2024	<b>73</b>

# PRÓLOGO INSTITUCIONAL | SEXTA EDICIÓN

La sexta edición del *Call for Papers* titulada “Construyendo un futuro próspero y sostenible para la región centroamericana” reafirma el compromiso de la Secretaría General del Sistema de la Integración Centroamericana (SG-SICA), la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA) —a través del Centro de Estudios para la Integración Económica (CEIE)—, y el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE) —por medio de su Oficina de Evaluación Independiente (ODEI)— con la generación de conocimiento estratégico como base para el fortalecimiento del proceso de integración regional.

En un contexto marcado por múltiples desafíos interrelacionados como el cambio climático, la inseguridad alimentaria, la transformación digital, la desigualdad social y los efectos prolongados de crisis sanitarias y geopolíticas, esta iniciativa se posiciona como un espacio plural de pensamiento crítico y propuesta académica para aportar soluciones concretas y sostenibles para Centroamérica.

El *Call for Papers* convoca a profesionales, académicos, funcionarios públicos e investigadores de la región a reflexionar desde una perspectiva rigurosa y aplicada sobre las oportunidades que brinda el Sistema de la Integración Centroamericana (SICA) para avanzar hacia un desarrollo equitativo, resiliente e inclusivo. En esta edición, se incentivó la elaboración de artículos en torno a cinco pilares clave: Fortalecimiento Institucional, Seguridad Democrática,

Integración Económica, Integración Social, y Cambio Climático y Gestión Integral del Riesgo.

Esta sexta edición se ha caracterizado no solo por la calidad técnica de los trabajos presentados, sino también por la diversidad temática y metodológica, reflejando el dinamismo de las agendas de investigación en la región y el creciente interés por contribuir activamente al debate sobre la integración y el desarrollo sostenible.

Asimismo, se reconoce el valioso acompañamiento de socios estratégicos regionales e internacionales, cuyas contribuciones técnicas y académicas han enriquecido el proceso de evaluación, selección y proyección de los artículos, asegurando altos estándares de calidad editorial y científico.

El compendio que aquí se presenta es resultado de este esfuerzo colectivo. Sus páginas reflejan una apuesta por el pensamiento constructivo, el análisis contextualizado y el compromiso con una Centroamérica más integrada, próspera y sostenible.

Desde las instituciones organizadoras, renovamos nuestra convicción de que la gestión del conocimiento es una herramienta fundamental para consolidar la integración regional, y que espacios como el *Call for Papers* son clave para fomentar el diálogo entre evidencia, política pública e innovación al servicio del desarrollo.

## RESULTADOS

En esta sexta edición se recibieron 31 artículos con valiosos aportes en torno a las diversas áreas de desarrollo en la región, enfocados en los pilares de la integración: Fortalecimiento institucional, Integración Económica, Integración Social, Cambio Climático y Gestión Integral de Riesgo y Seguridad Democrática; y participaron 52 autores/as provenientes de nueve nacionalidades de América Latina y el Caribe.

## ARTÍCULOS GANADORES

Las investigaciones ganadoras fueron evaluadas por el Comité Editorial de la iniciativa, integrado por representantes de las instituciones coordinadoras, atendiendo al cumplimiento de las bases del concurso, incluyendo las normas editoriales, la pertinencia temática y la adecuada estructuración del artículo. En ese sentido las premiaciones fueron otorgadas de la siguiente forma:

El **primer lugar** correspondió al artículo “Efectos de los acuerdos comerciales en la subalimentación en la Región Centroamericana”, de Oliver David Morales Rivas y Gabriela Judith López Gutiérrez (Nicaragua). Su investigación evidencia, mediante modelos cuantitativos robustos, cómo los acuerdos comerciales han incidido en la reducción de la subalimentación en algunos países de la región, y cómo factores institucionales como la capacidad agrícola y el control de la corrupción condicionan estos resultados.

El **segundo lugar** reconoció el trabajo de Jhunion Marcia-Fuentes, Jenny Ruiz-Cardona y Lilian Sosa (Honduras), titulado “Formulación de un sucedáneo de chocolate fortificado con pulpa de carao (*Cassia grandis*) como anti-anémico de bajo costo para la región centroamericana”. Esta investigación propone una innovación alimentaria con base científica, enfocada en la seguridad nutricional, y representa una contribución concreta al diseño de soluciones accesibles frente a la anemia en poblaciones vulnerables.

El **tercer lugar** fue otorgado a Adolfo Quesada Román (Costa Rica), por su artículo “Cambio global en América Central: desafíos socioambientales y oportunidades para la cooperación regional”. Su análisis integral, basado en datos históricos y variables socioambientales, ofrece una mirada estratégica sobre cómo la región puede avanzar hacia un desarrollo más sostenible mediante políticas ambientales informadas y cooperación multilateral efectiva.

Finalmente, se concedió una **mención honorífica**

al artículo “La biodiversidad como impulsor del turismo rural comunitario: una experiencia para el desarrollo en Tola, Nicaragua”, de Layo Rodrigo Leets Rodríguez, por destacar cómo el conocimiento y conservación de la biodiversidad puede convertirse en un motor para el desarrollo local, la resiliencia y la sostenibilidad.

La calidad de estos trabajos reafirma el potencial transformador del conocimiento aplicado cuando se pone al servicio del bien común regional. Desde las instituciones convocantes, reiteramos nuestro compromiso con la generación de evidencia que fortalezca las capacidades institucionales del SICA y promueva la construcción colectiva de un futuro más próspero, resiliente e inclusivo para Centroamérica.

En esta edición se contó con la participación de socios estratégicos quienes por su trayectoria académica e investigativa dieron un impulso a la iniciativa: el Instituto Centroamericano de Administración Pública (ICAP), la Fundación ETEA del Instituto de Desarrollo de la Universidad Loyola Andalucía y el Instituto de Estudios Internacionales de la Universidad de Chile.

# Primer Lugar

## Efectos de los acuerdos comerciales en la subalimentación en la Región Centroamericana

### Autores

Oliver David Morales Rivas<sup>1</sup>

Gabriela Judith López Gutiérrez<sup>2</sup>

### Fecha de elaboración

12 de diciembre de 2024

### Palabras clave

Acuerdos Comerciales, Subalimentación, Efectos Heterogéneos, Contexto Institucional, Contexto Económico

<sup>1</sup> Consultor Independiente en análisis económico y evaluación de impacto de proyectos y programas. . <https://orcid.org/0000-0002-9997-8679> [oliverdavid19@gmail.com](mailto:oliverdavid19@gmail.com)

<sup>2</sup> Consultora económica y monitoreo de proyectos Independiente. <https://orcid.org/0009-0003-2132-3407> [gabrijlopez@gmail.com](mailto:gabrijlopez@gmail.com)

## Resumen

Esta investigación evalúa el impacto de los siguientes acuerdos comerciales: Tratado de Libre Comercio entre República Dominicana y Centroamérica y Estados Unidos (DR CAFTA), Acuerdo de Asociación Centroamérica - Unión Europea (AACUE) y el Tratado de Promoción Comercial entre Panamá y Estados Unidos (TPA) sobre los niveles de subalimentación en la región. Para ello se utilizó un modelo de diferencias en diferencias y un modelo de panel con efectos fijos, considerando en el análisis una variedad de variables de control. Los resultados revelan que, en promedio, los acuerdos comerciales reducen en 1.5 puntos los niveles de subalimentación en Centroamérica. Sin embargo, los hallazgos muestran efectos heterogéneos de los acuerdos comerciales sobre la subalimentación, encontrando que en Costa Rica, El Salvador y Guatemala la magnitud del efecto es mayor a los observados en Nicaragua, Honduras y Panamá. Así mismo, se identificó que factores como la capacidad productividad agrícola y el control de la corrupción tienen efectos positivos, reforzando la importancia del contexto institucional y económico de cada país para aprovechar los potenciales efectos positivos de los acuerdos comerciales.

## Abstract

This research evaluates the impact of the following trade agreements: the Dominican Republic - Central America - United States Free Trade Agreement (DR-CAFTA), the Association Agreement between Central America and the European Union (AACUE), and the United States–Panama Trade Promotion Agreement (TPA) on undernourishment levels in the region. A difference-in-differences model and a panel fixed-effects model were employed, incorporating a variety of control variables into the analysis. The results reveal that, on average, the trade agreements reduced undernourishment levels in Central America by 1.5 percentage points. However, the findings indicate heterogeneous effects of the trade agreements on undernourishment, with greater impacts observed in Costa Rica, El Salvador, and Guatemala compared to Nicaragua, Honduras, and Panama. Additionally, it was identified that factors such as agricultural productivity capacity and corruption control have positive effects, reinforcing the importance of each country's institutional and economic context in leveraging the potential positive impacts of trade agreements.

## Introducción

La FAO (2006) define la seguridad alimentaria como la situación en la que todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias para desarrollar una vida saludable. Sin embargo, a partir de 2018, el panorama global ha estado influido por una serie de factores que han socavado la seguridad alimentaria, entre ellos el conflicto geopolítico entre Rusia y Ucrania, fenómenos climáticos extremos y la pandemia de COVID-19 (Rother et al., 2022).

Adicionalmente, la guerra comercial y la imposición de tarifas recíprocas por la administración Trump, eleva la incertidumbre económica global e impone nuevas trabas al comercio internacional agrícola que podrían incidir en la seguridad alimentaria (Glauber et al., 2025; Sillah, 2025). Aunque el agravamiento de este problema es más evidente en años recientes, el reporte más reciente de la FAO (2024) muestra que

ya desde 2012 se observaba en los países de ingresos bajos un cambio abrupto en la tendencia descendente que variables como la prevalencia de la desnutrición habían mantenido hasta 2010-2011. Así mismo, el indicador de prevalencia de la subalimentación en 2022 se mantuvo por encima de los niveles previos a la pandemia para el 58% y 72% de todos los países y de los países subdesarrollados respectivamente (FAO, 2023).

En el caso de la región de Latinoamérica y el Caribe (LAC) también existe una tendencia creciente en la prevalencia de la desnutrición a partir de 2013-2015. Adicionalmente para 2016 en la región LAC el número de personas con hambre había aumentado en 2,4 millones, alcanzando una cifra de casi 42,5 millones (Salazar & Muñoz, 2019). En el caso específico de Centroamérica, la cifra de prevalencia de la desnutrición presenta una reducción entre 2010-2023. Sin embargo, otros indicadores como la prevalencia

de inseguridad alimentaria severa y moderada presentaron aumentos para 2022 (FAO, 2023). Estos patrones a nivel global y dentro de las regiones específicas de países muestran la incertidumbre prevalente en el alcance de metas claves asociadas al ODS 2, Hambre Cero.

Si bien la teoría económica tradicional ha destacado históricamente el rol del comercio como un mecanismo equilibrador ante los desequilibrios entre oferta y demanda de alimentos, su impacto en la seguridad alimentaria puede ser más complejo ante contextos más desafiantes como el que se presenta desde 2018. En 2022, el costo global de las importaciones alimentarias alcanzó un récord de casi 2 billones de dólares, un 10 % más que en 2021, mientras que los precios de los fertilizantes y los insumos agrícolas también aumentaron significativamente debido al alza en los precios de la energía y el gas natural<sup>3</sup> (FAO, 2023). De manera contradictoria a lo planteado por la teoría económica tradicional, muchos países exportadores han adoptado medidas proteccionistas en respuesta a los efectos adversos de los recientes choques globales. Estas medidas estuvieron orientadas a mitigar el impacto interno. Sin embargo, contribuyeron a agravar el problema a nivel global al restringir aún más el comercio (Rother et al., 2022).

Los patrones globales y regionales destacan la creciente relevancia de la interacción entre el comercio y la seguridad alimentaria en el contexto actual. Según la

teoría económica tradicional, el comercio desempeña un papel clave para reducir las brechas alimentarias, permitiendo que los países con déficits en la producción accedan a alimentos provenientes de naciones con excedentes (Ibrahim et al., 2023). Estos últimos, a su vez, pueden incrementar sus ingresos mediante exportaciones y diversificar su oferta alimentaria a través de importaciones y mejoras en la producción interna como efecto del impulso de la demanda global (FAO, 2024). Sin embargo, esta relación ideal podría no siempre cumplirse en contextos marcados por crisis climáticas, conflictos geopolíticos y choques económicos, los cuales pueden alterar los flujos comerciales y exponer vulnerabilidades estructurales en los países dependientes del comercio agrícola.

El análisis de los efectos de los acuerdos en la subalimentación adquiere particular relevancia en un contexto donde la apertura comercial ya mostraba un avance constante en la región, impulsada por tratados como el DR-CAFTA, que entró en vigor en 2006 para la mayoría de los países, y el Tratado de Promoción Comercial (TPA) entre Panamá y Estados Unidos, en vigor desde 2012. Mientras el DR-CAFTA promovió un incremento sustancial en el comercio regional con Estados Unidos, el Acuerdo de Asociación Centroamérica -Unión Europea (AACUE), vigente desde 2013, amplió las relaciones comerciales con el bloque europeo<sup>4</sup>. A pesar de esta dinámica de liberalización, la literatura empírica que evalúa los

<sup>3</sup> Rusia y Ucrania, exportadores clave de trigo (30 %), maíz (20 %) y aceite de girasol (75 %), así como de energía y fertilizantes, redujeron su producción, lo que impactó significativamente la oferta global, elevando los precios (Rother et al., 2022).

<sup>4</sup> Panamá no forma parte del DR-CAFTA. En su lugar, se considera el Tratado de Promoción Comercial (TPA) entre Panamá y Estados Unidos, en vigor desde 2012, como el acuerdo bilateral de referencia para ese país en el análisis.

efectos de estos tratados sobre la seguridad alimentaria en la región sigue siendo escasa. La mayoría de los estudios se ha enfocado en los efectos sobre el crecimiento económico y el incremento del comercio (Véase Coad (2012) y Rojas Rodríguez & Matschke (2023)) o en un análisis cualitativo del vínculo con la seguridad alimentaria (Véase Galián (2004); Hawkes & Thow (2008) y Ortiz Mena & Cascante Hernández (2023)). Por lo tanto, este estudio pretende aportar a la brecha de estudios cuantitativos sobre el efecto de tratados de libre comercio en la subalimentación y seguridad alimentaria en la región, explorando si los acuerdos han tenido impactos acumulativos o diferenciados según el socio comercial y el contexto país.

## Marco teórico conceptual

Uno de los principales argumentos para el impulso del comercio es el efecto positivo que este puede tener en el crecimiento económico. En este sentido, también ha surgido un interés por entender si una mayor apertura comercial puede promover factores claves del desarrollo de los países, como la salud y la nutrición. A nivel teórico se han identificado una serie de vínculos entre estos aspectos. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud et al., (2015) estos vínculos comienzan con los efectos que el comercio genera en las diferentes etapas de la cadena alimentaria: producción, distribución, importaciones-exportaciones, procesamiento y comercialización.

Seguidamente, los cambios en esta cadena generan efectos directos al transformar el contexto en el que los hogares toman decisiones de consumo influyendo en factores como la disponibilidad, diversidad y tipo

de alimentos que ingieren, así como en los precios y la accesibilidad de los mismos (Adjaye-Gbewonyo et al., 2019). Todo esto repercute finalmente en su estado nutricional. Además se señala con frecuencia que las políticas comerciales influyen en la nutrición a través de las siguientes vías indirectas; cambios en los ingresos nacionales / sectoriales y su distribución, así como cambios en el empleo (Magrini et al., 2014; Shankar, 2018).

A nivel empírico el estudio de la relación entre comercio y aspectos como la prevalencia de la subalimentación y de la desnutrición, ha arrojado resultados mixtos, con estudios que encuentran efectos positivos y otros que identifican efectos negativos<sup>5</sup>. Por ejemplo, Ajila (2022) al analizar el impacto de la apertura comercial en la denominada ‘triple carga’ de la seguridad alimentaria - es decir, la coexistencia de desnutrición, obesidad y anemia en mujeres embarazadas-, utilizando una estimación de Mínimos Cuadrados en Dos Etapas (2SLS) con datos panel, encuentra que la apertura comercial aumenta la proporción de personas afectadas por estos tres problemas. Un segundo estudio que encuentra efectos negativos es el de Mary (2019), quien al diferenciar entre el comercio de alimentos y el comercio de bienes no alimentarios, encuentra que el primero aumenta la prevalencia de la desnutrición en 52 países subdesarrollados. Otros estudios con resultados negativos similares son los de Bezuneh &

<sup>5</sup> Para una exposición teórica completa de todos los potenciales vínculos entre el comercio y la seguridad alimentaria se puede revisar la revisión sistemática de McCorrison et al., (2013) y Cuevas García-Dorado et al., (2019). FAO (2016) también brinda un resumen de los efectos positivos y negativos a lo largo de los diversos pilares de la seguridad alimentaria.

Yiheyis (2012, 2014), para 11 países de África y 37 países subdesarrollados respectivamente; y el de Saglam (2023), que emplea un enfoque VAR para un panel de 150 países.

En el caso de los efectos negativos encontrados por Ajila (2022) el estudio concluye que estos están asociados a los efectos distorsionadores que surgen con la liberalización comercial. Entre ellos se destacan la preferencia de las compañías exportadoras por productores de mayor escala, así como la presencia de intermediarios e imperfecciones estructurales, especialmente en los mercados de países subdesarrollados (Ajila (2022) citando a Van den Broeck & Maertens (2016)). De manera similar Mary (2019) encuentra que, aunque la apertura comercial incrementa la disponibilidad de alimentos, tiene un impacto negativo en el PIB per cápita del sector alimentario y en los precios que reciben los agricultores. Esto genera una presión competitiva que puede llevar al abandono de la actividad agrícola por parte de pequeños productores. Estos resultados, muestran empíricamente que en dependencia del nivel de ingreso inicial, tamaño y competitividad del sector de alimentos del país, también puede coexistir un efecto indirecto negativo sobre los ingresos de los productores, como lo señalan también Adjaye-Gbewonyo et al., (2019); la FAO (2024); Valdivieso (2023) y Bezuneh & Yiheyis (2014).

En contraposición a los resultados negativos encontrados en la evidencia previamente citada, algunos estudios encuentran efectos positivos. Por ejemplo, Zakaria et al., (2016), mediante técnicas de datos panel dinámicos con efectos fijos, analizan

países del Sudeste Asiático y reportan resultados favorables. De manera similar, Dithmer & Abdulai (2017), empleando un estimador del sistema del método generalizado de momentos (MGM) llegan a conclusiones positivas en aspectos como el consumo promedio de energía alimentaria y la diversidad de la dieta para un panel de 151 países desarrollados y en desarrollo. Finalmente Marson et al., (2023), utilizando Mínimos Cuadrados en Dos Etapas (2SLS) para un panel de países en desarrollo, también identifican impactos positivos. Estos últimos autores se enfocan en el comercio de cereales, realizando una importante diferenciación entre la posición de los países analizados como exportadores o importadores netos.

En cuanto a los efectos positivos encontrados por Zakaria et al., (2016) en países del Asia Sudeste, los autores utilizan una serie de variables de control que también pueden incidir en la subalimentación. Estas incluyen el ingreso per cápita, el nivel de educación, el grado de urbanización, un indicador de democracia y un indicador de dependencia medido como el porcentaje de población dependiente. Zakaria et al., (2016) concluyen que la liberalización comercial genera efectos positivos a través de la mejora en los términos de intercambio. Además, destacan el impacto favorable del aumento en el ingreso per cápita, el nivel educativo, el grado de urbanización y la democratización política en la reducción de la subalimentación. Marson et al., (2023) también obtienen efectos positivos y significativos del ingreso o PIB per cápita en la subalimentación. Por su parte Dithmer & Abdulai (2017) destacan el rol del

crecimiento económico y la productividad agrícola (aproximada mediante el rendimiento de los cereales) en la mejora de la seguridad alimentaria.

En el contexto de Latinoamérica, el estudio de Nieto & Reyes (2019) evidencia la existencia de efectos negativos de la liberalización comercial sobre la seguridad alimentaria en 13 países de la región utilizando un modelo de datos panel con efectos fijos. Entre las variables relacionadas con la apertura comercial analizadas, como la proporción de exportaciones e importaciones de alimentos respecto al valor total de las exportaciones de mercancías y la proporción de exportaciones de materias primas para la agricultura, los autores identifican que la variable con mayor impacto negativo sobre el déficit alimentario es la asociada a las importaciones de alimentos, similar a lo encontrado por Marson et al., (2023), aunque en este caso con efectos negativos. Los autores concluyen que estos resultados podrían obedecer a la orientación exportadora predominante en los países analizados, lo que pone en riesgo la provisión de alimentos a nivel local.

En el caso de Centroamérica, no se identificaron estudios que estimen de forma cuantitativa o cualitativa el impacto del AACUE. Sin embargo, existen investigaciones que abordan los efectos del CAFTA-DR y el TPA. La mayoría de los estudios que abordan el impacto del CAFTA-DR se centran en aspectos distintos a la seguridad alimentaria, enfocándose principalmente en su influencia sobre el crecimiento económico y la integración de los países de la región en los flujos comerciales (Véase Coad

(2012) y Rojas Rodríguez & Matschke (2023)). Aquellos que abordan la seguridad alimentaria lo hacen desde una perspectiva cualitativa, lo que deja una base limitada de literatura cuantitativa específica para la región (Véase Galián (2004); Hawkes & Thow (2008) y Ortiz Mena & Cascante Hernández (2023)). Para el TPA el estudio de Sánchez & Vos (2005), evalúa su impacto ex-ante sobre una variedad de aspectos como el crecimiento, la pobreza y la desigualdad, sin abordar directamente su efecto en la seguridad alimentaria.

En este contexto, Coad (2012) encontró efectos positivos del CAFTA-DR en el comercio como porcentaje del PIB para los países de Centroamérica. No obstante, estos resultados no se tradujeron en incrementos significativos del PIB debido a factores como las recesiones globales (especialmente la de 2007), la falta de inversión en la mejora de la capacidad productiva en la región, la estabilidad política regional y la continuidad de los subsidios agrícolas en Estados Unidos. Por su parte, Rojas Rodríguez y Matschke (2023) reportaron resultados heterogéneos: mejoras en exportaciones e ingresos para El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua, pero retrocesos en Costa Rica y República Dominicana. Aunque estos estudios no abordan directamente la seguridad alimentaria, evidencian que los efectos de los acuerdos comerciales varían entre países y dependen de condiciones como inversión y estabilidad, esto coincide con la literatura revisada para el tema a nivel de otros países. Por otro lado, las investigaciones cualitativas sugieren posibles impactos negativos en la seguridad alimentaria, como una transición hacia dietas menos saludables.

En el caso de Sánchez & Vos (2005), el análisis ex-ante del Tratado de Promoción Comercial (TPA), basado en un modelo de equilibrio general computable (MEGC) y micro simulaciones, encontró que el impacto aislado del tratado sobre el crecimiento económico, empleo y pobreza sería modesto. Aunque se preveían ligeras mejoras en el PIB (real) y reducciones marginales en la pobreza, el estudio advierte que, sin políticas complementarias, los beneficios serían limitados y desiguales. En particular, sectores como los pequeños productores de maíz y los trabajadores en industrias sensibles (cuero) podrían experimentar pérdidas de ingresos o empleo ante un contexto de baja movilidad laboral. Asimismo, se destaca que el impulso sostenido a la reducción de la pobreza y la desigualdad dependerá críticamente de políticas que promuevan mejoras en la infraestructura productiva, el acceso al crédito, la educación, así como de medidas para facilitar la movilidad laboral. Finalmente, se señala que la falta de reciprocidad en la liberalización agrícola, debido a la continuidad de los subsidios agrícolas en EU (que mantienen los precios artificialmente bajos), intensifican la desventaja competitiva para los agricultores locales y contraen las ganancias de crecimiento y reducción de pobreza producto de los TLC, como lo demuestran otros estudios citados por los autores (Ganuza et al., 2004; Hathaway, 2003; Sánchez, 2004; Sánchez & Vos, 2005)-

La literatura revisada muestra una relación compleja entre la apertura comercial y la seguridad alimentaria, influenciada por una amplia gama de factores contextuales que han sido utilizados como variables

de control. Aspectos como el ingreso per cápita, el nivel educativo, la urbanización y la productividad agrícola emergen como determinantes claves en los resultados, tanto positivos como negativos. Mientras que algunos estudios encuentran que estas variables potencian los beneficios del comercio, como la mejora en los términos de intercambio o la diversidad alimentaria, otros resaltan los efectos adversos vinculados a distorsiones en los mercados, la pérdida de competitividad de pequeños productores y la dependencia de importaciones. Además, la evidencia sugiere que, sin políticas complementarias que fomenten la productividad, protejan a los sectores más vulnerables y compensen las desventajas competitivas, agravadas, en algunos casos, por subsidios en los países socios, los efectos positivos de la apertura pueden ser limitados o desiguales. Esta heterogeneidad sugiere que los impactos de la apertura comercial no son uniformes y dependen en gran medida de las características estructurales y las políticas implementadas en cada contexto.

## Metodología

Esta investigación cuantifica el impacto de los siguientes Acuerdos Comerciales suscritos por los países Centroamericanos: Tratado de Libre Comercio entre República Dominicana y Centroamérica y Estados Unidos (DR-CAFTA), Acuerdo de Asociación Centroamérica-Unión Europea (AACUE) y el Tratado de Promoción Comercial entre Panamá y Estados Unidos (TPA) sobre los niveles de subalimentación. Para este propósito se emplearon dos métodos econométricos: Diferencias en Diferencias y Modelo de Panel.

## Modelo de diferencias en diferencias

El modelo de diferencias en diferencias siguió la estrategia empírica empleada por Bejarano (2020) la cual estima el efecto en dos fases; en el primer momento se estima la tendencia cuadrática de la subalimentación en cada país, mediante la siguiente forma funcional:

$$Y_{it} = \alpha_{1i} + \alpha_{2i} \cdot trend_t + \alpha_{3i} * trend_t^2 + \mu_{it} \quad (1)$$

En la regresión (1),  $Y_{it}$  es la serie de prevalencia de la subalimentación publicada en FAO en el período  $t$  en cada país, los coeficientes  $\alpha_{2i}$  y  $\alpha_{3i}$  capturarán la tendencia cuadrática en cada país y  $\mu_{it}$  es el término de error. Posteriormente se ajusta la serie de subalimentación en cada país y para ello se elimina la tendencia e intercepto previo a la entrada en vigor de cada uno de los acuerdos comerciales. La siguiente regresión se aplicó a cada país de la muestra en estudio para el periodo 2002 a 2023:

$$Y^*_{it} = \omega_i + \sum_{k=1}^t \delta * 1[k = t] + postCAFTA + postAACUE + PostTPA + \mu_{it} \quad (2)$$

Donde  $Y^*_{it}$ , es la serie de prevalencia de la subalimentación ajustada de cada país para el periodo  $t$ ,  $\omega_i$  por su parte captura los efectos fijos en el tiempo,  $postCAFTA$ ,  $postAACUE$  y  $postTPA$  son variables dicotómicas que toma el valor de 1 en el momento que entró en vigencia cada acuerdo comercial (tratamiento) y 0 para antes de la entrada en vigencia de cada uno de los acuerdos comerciales analizados (grupo de control),  $1[k = t]$  es una variable dicotómica que tiene el valor de 1 en cada año posterior a la firma del acuerdo y 0 en el resto de los años y finalmente  $\delta$  sería el efecto acumulado del acuerdo en  $k$  periodos.

## Modelo de panel con efectos fijos

El modelo de datos de panel con efectos fijos se utilizó para conocer las magnitudes de efecto que tienen algunas variables de control sobre la subalimentación, para el periodo 2002-2023. Se empleó la siguiente regresión para el modelo panel con efectos fijos;

$$Y_{it} = X_{1i}\beta + \alpha_i + \mu_{it} \quad (3)$$

Donde  $i$  representa el país,  $t$  es el año de cada observación,  $Y_{it}$  se refiere a la prevalencia de la subalimentación ajustada en la ecuación (1),  $\beta$  es el vector con los parámetros de interés,  $\alpha_i$  es el efecto individual para cada país y  $\mu_{it}$  simboliza el residuo de la regresión. La matriz  $X_{1i}$  contiene variables explicativas que cambian en el tiempo y por país. La inclusión de variables dicotómicas temporales permitió capturar el efecto interactivo de

los acuerdos comerciales DR-CAFTA, AACUE y TPA con algunas variables de control, siguiendo lo sugerido por la literatura empírica revisada. Las variables de control son las siguientes:

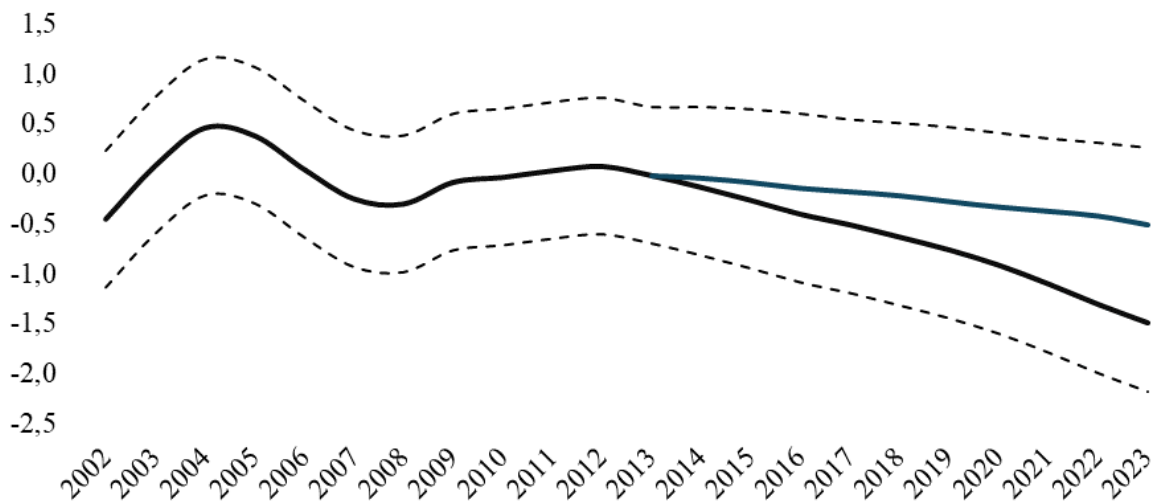
- **Flujo:** Comercio de cada país de Centroamérica con destino a los países que son socios comerciales y han suscrito los acuerdos DR-CAFTA, AACUE y TPA. Estos flujos son medidos como las importaciones más las exportaciones como porcentaje del PIB. Las cifras utilizadas provienen de las bases de datos del SIECA y el Banco Mundial.
- **ICE:** El Índice de Complejidad Económica mide que tan diversificada y sofisticada es la estructura productiva de cada país. Se construye a partir de la ubicuidad y diversidad de los productos que se exportan. Las cifras utilizadas provienen de la base datos del Observatorio de Complejidad Económica (OCE).
- **CC:** Índice de control de corrupción. Las cifras utilizadas provienen de la base de datos del Banco Mundial.
- **PROALIM:** Índice de producción alimentos. Las bases utilizadas provienen de la base de datos del Banco Mundial.

El efecto fijo extrae los atributos invariantes en el tiempo de tal manera que se puede estimar el efecto de los regresores sobre la subalimentación. Este enfoque asegura que los atributos invariantes en el tiempo no introduzcan sesgo en la estimación de los parámetros de interés, a como se discute en Wooldridge (2012)

## Resultados

Los resultados para el caso de Costa Rica que se muestran en la Figura 1, indican una disminución significativa en la subalimentación posterior a la implementación de los acuerdos DR-CAFTA y AACUE. Los valores de  $\delta$  son negativos y estadísticamente significativos en varios períodos, indicando que estos dos acuerdos comerciales han generado efectos positivos en la seguridad alimentaria en Costa Rica. En promedio el DR-CAFTA ha disminuido en 1.5 puntos y el AACUE en 0.5 puntos la cantidad de población en estado de subalimentación.

**Figura 1** Efecto del tratamiento promedio de los Acuerdos Comerciales, DR-CAFTA y AACUE, sobre la prevalencia de la subalimentación en Costa Rica (2002-2023)

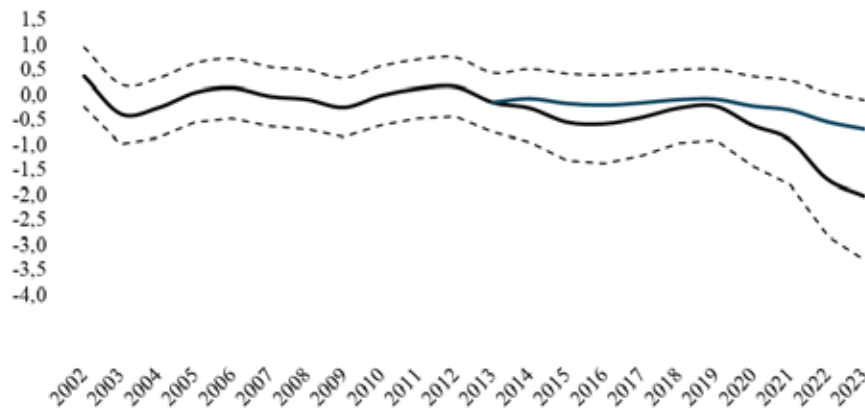


**Fuente:** Elaboración propia con datos de la FAO

**Nota:** La línea sólida es el estimador  $\delta_k$  para cada período, el color negro captura el efecto DR-CAFTA y la línea color azul el efecto AACUE, mientras que la línea punteada es el intervalo de confianza al 95%.

Para El Salvador, la variabilidad  $\delta_k$  sugiere una relación robusta entre los acuerdos comerciales y la reducción de la subalimentación, logrando acumular un efecto de 2.70 puntos en la reducción de la población subalimentada. Al descomponer el efecto, se obtiene que el DR-CAFTA tiene un efecto en la reducción de la subalimentación en 2. puntos y el AACUE en 0.7 puntos.

**Figura 2** Efecto del tratamiento promedio de los Acuerdos Comerciales, DR-CAFTA y AACUE, sobre la sobre la prevalencia de la subalimentación en El Salvador (2002-2023)

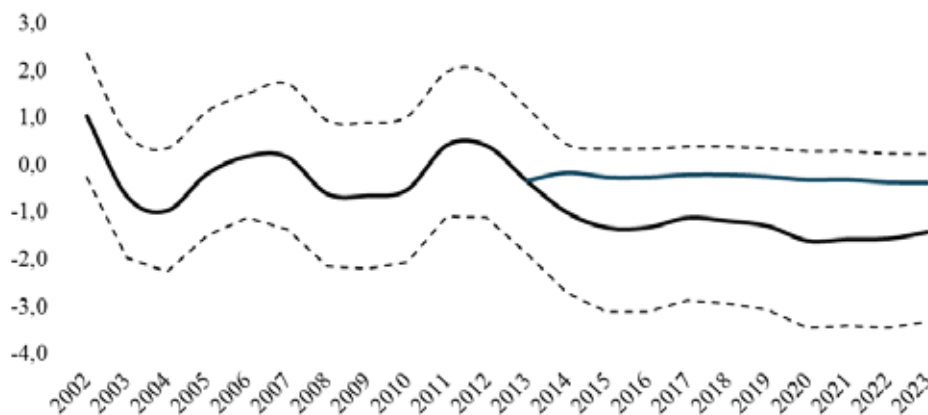


Fuente: Elaboración propia con datos de la FAO

**Nota:** La línea sólida es el estimador  $\delta_k$  para cada período, el color negro captura el efecto DR-CAFTA y la línea color azul el efecto AACUE, mientras que la línea punteada es el intervalo de confianza al 95%.

En la **Figura 3**, se presenta el resultado para Guatemala en cual el impacto es significativo en los primeros años de estar en marcha el DR-CAFTA, y en los años posteriores a la entrada en vigor del AACUE. En promedio el DR-CAFTA ha reducido en 1.41 puntos y el AACUE en 0.37 puntos la población subalimentada.

**Figura 3** Efecto del tratamiento promedio de los Acuerdos Comerciales, DR-CAFTA y AACUE, sobre la prevalencia de la subalimentación en Guatemala (2002-2023)

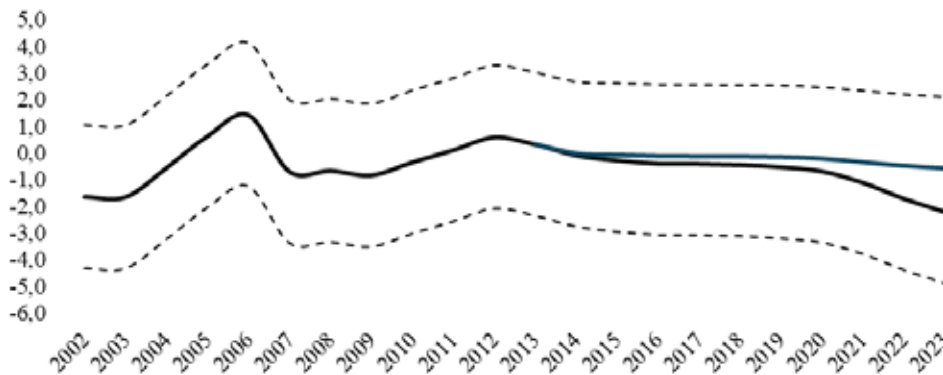


Fuente: Elaboración propia con datos de la FAO

**Nota:** La línea sólida es el estimador  $\delta_k$  para cada período, el color negro captura el efecto DR-CAFTA y la línea color azul el efecto AACUE, mientras que la línea punteada es el intervalo de confianza al 95%.

La **Figura 4** muestra que en Honduras los acuerdos comerciales han presentado un efecto levemente positivo en los niveles de subalimentación. El DR-CAFTA ha generado una reducción de 0.8 puntos y el AACUE ha disminuido en 0.2 puntos la subalimentación.

**Figura 4** Efecto del tratamiento promedio de los Acuerdos Comerciales, DR-CAFTA y AACUE, sobre la prevalencia de la subalimentación en Honduras (2002-2023)

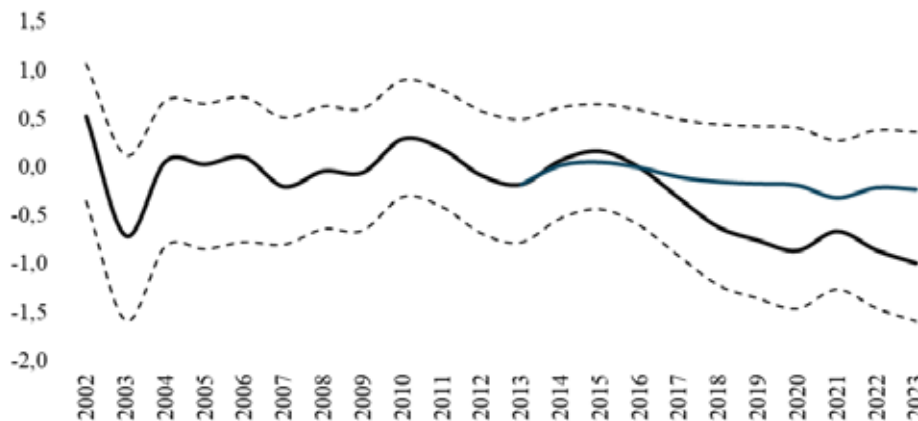


Fuente: Elaboración propia con datos de la FAO

**Nota:** La línea sólida es el estimador  $\delta_k$  para cada período, el color negro captura el efecto DR-CAFTA y la línea color azul el efecto AACUE, mientras que la línea punteada es el intervalo de confianza al 95%.

En la **Figura 5** se logró identificar que el DR-CAFTA y el AACUE han forjado un efecto levemente positivo sobre la población subalimentada de Nicaragua, y se evidencia que en promedio el DR-CAFTA disminuyó 1 punto y el AACUE provocó descenso de 0.23 puntos en la subalimentación.

**Figura 5** Efecto del tratamiento de los Acuerdos Comerciales, DR-CAFTA y AACUE, sobre la prevalencia de la subalimentación en Nicaragua (2002-2023)

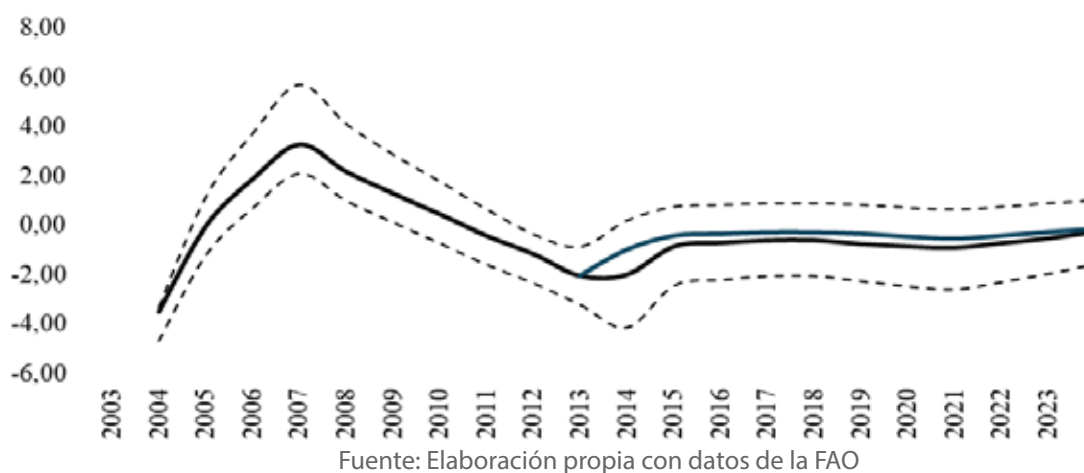


Fuente: Elaboración propia con de la FAO

**Nota:** La línea sólida es el estimador  $\delta_k$  para cada período, el color negro captura el efecto DR-CAFTA y la línea color azul el efecto AACUE, mientras que la línea punteada es el intervalo de confianza al 95%.

Para Panamá, la variabilidad  $\delta_k$  sugiere que los acuerdos comerciales han provocado una reducción marginal en la subalimentación, logrando acumular un efecto de 0.38 puntos en la reducción de la población subalimentada. Al descomponer el efecto, el TPA contribuyó con una reducción de 0.23 puntos y el AACUE de 0.15 puntos.

**Figura 6** Efecto del tratamiento promedio de los Acuerdos Comerciales, TPA con Estados Unidos y AACUE, sobre la prevalencia de la subalimentación en Panamá (2002-2023)



**Nota:** La línea sólida es el estimador  $\delta_k$  para cada período, el color negro captura el efecto TPA y la línea color azul el efecto AACUE, mientras que la línea punteada es el intervalo de confianza al 95%.

Los hallazgos muestran efectos heterogéneos de los acuerdos comerciales sobre la subalimentación, encontrando que en Costa Rica, El Salvador y Guatemala la magnitud del efecto es mayor a los observados en Nicaragua, Honduras y Panamá. En valores medios, el DR-CAFTA ha disminuido en 1.34 puntos, el AACUE ha reducido en 0.36 puntos y TPA en 0.23 la población subalimentada en Centroamérica. La **Tabla 1**, presenta los resultados econométricos estimados. El **Modelo\_1**, examina el, impacto de los flujos comerciales (FC) de cada país sobre la subalimentación, diferenciando entre países que forman parte del DR-CAFTA, el AACUE y en el caso de Panamá el Tratado de Promoción Comercial

(TPA). Se encontró que, en lo general, mayores flujos comerciales están asociados con menores niveles de subalimentación.

Los flujos comerciales como porcentaje del PIB por país en el período post-acuerdo confirman que, en la mayoría de los casos, los acuerdos comerciales han intensificado la relación negativa entre comercio y subalimentación. Las magnitudes de reducción encontradas están entre 0.03 y 0.23 para el caso de DR-CAFTA, ahora bien, en el caso del AACUE los valores de efecto obtenidos están entre 0.06 y 1.83 y para el TPA se evidencio que los flujos comerciales han provocado una disminución de 1.16 puntos en el índice de subalimentación en Panamá. Este hallazgo

sugiere que la integración comercial facilitada por los acuerdos comerciales estudiados incrementaron el acceso a alimentos y promovió mejoras en la seguridad alimentaria, en concordancia con una serie de estudios que encuentran efectos positivos tales como Dithmer & Abdulai (2017); Marson et al., (2023) y Zakaria et al., (2016).

En el **Modelo\_2**, las variables asociadas por país y acuerdo son dicotómicas y capturan el efecto de entrada en vigor de cada uno de los acuerdos estudiados<sup>6</sup>. Además, este modelo incluye algunas variables de control que reflejan el entorno institucional, la capacidad productiva y el nivel de desarrollo económico, así como un componente dinámico a través de la subalimentación rezagada.

El índice de control de corrupción (CC) muestra un impacto negativo altamente significativo, que evidencia la importancia de mejorar la gobernanza y la transparencia en la implementación de políticas públicas para mitigar la inseguridad alimentaria. Específicamente cada vez que mejore la percepción de la corrupción en Centroamérica puede reducirse la subalimentación en 1.2 puntos, alineándose a lo que evidenció Zakaria et al., (2016) y Zanuto Andrade & Joaquim Fraga (2020).

El producto interno bruto tiene un efecto indirecto en la subalimentación, un 1% que crezca el PIB puede ocasionar que los niveles de subalimentación en la región descendan en 1.22 puntos.

El índice de producción alimentaria (PROALIM),

genera un efecto indirecto sobre la subalimentación, es decir, que por cada punto que aumente el índice de producción de alimentos en Centroamérica se reduciría en 0.03 puntos la población subalimentada.

El índice de complejidad económica (ICE) disminuye la subalimentación en 0.32 puntos. Estos resultados se presentan a un nivel de significancia al 10%, por lo cual, se puede argüir que los países que transforman sus actividades económicas en bienes y servicios diversificados y sofisticados pueden contribuir indirectamente a mejorar la seguridad alimentaria.

Finalmente, el coeficiente positivo de 0.85 de la subalimentación rezagada (SUBALIMENTACIÓN<sub>-1</sub>), captura un nivel de persistencia en la subalimentación a lo largo del tiempo. Lo anterior implica que, en Centroamérica, la seguridad alimentaria es difícil de reducir en el corto plazo, debido a su naturaleza estructural y multifactorial.

---

<sup>6</sup> En caso del Modelo\_1, las variables FC por país y acuerdo, se construyeron como el flujo comercial como porcentaje del PIB

Tabla 1 Resultados econométricos para la subalimentación en Centroamérica

Acuerdo Comercial	Variables	Model_1	Model_2
	Constante	15.30***	15.10***
	(0.31)	(0.31)	
	FC_COSTA RICA	-0.03***	-0.60***
	(0.01)	(0.45)	
	FC_ELSALVADOR	0.09***	-0.59**
	(0.02)	(0.33)	
	FC_GUATEMALA	-0.20***	-1.20***
	(0.05)	(0.45)	
	FC_HONDURAS	-0.10***	-0.42*
	(0.04)	(0.35)	
	FC_NICARAGUA	-0.23***	-0.39*
DR-CAFTA	(0.05)	(0.40)	
		(0.31)	(0.31)
	FC_COSTA RICA	-0.03***	-0.60***
	(0.01)	(0.45)	
	FC_ELSALVADOR	0.09***	-0.59**
	(0.02)	(0.33)	
	FC_GUATEMALA	-0.20***	-1.20***
	(0.05)	(0.45)	
	FC_HONDURAS	-0.10***	-0.42*
	(0.04)	(0.35)	
	FC_NICARAGUA	-0.23***	-0.39*
	(0.05)	(0.40)	
TPA	FC_PANAMA	-1.16**	-0.69*
		(0.29)	(0.57)

AACUE	FC_COSTA RICA	-0.06*	-0.60*
		(0.04)	(0.31)
	FC_ELSALVADOR	-0.36***	-0.36
		(0.09)	(0.28)
	FC_GUATEMALA	-1.38***	-0.82***
		(0.25)	(0.33)
	FC_HONDURAS	-0.50***	-1.56***
		(0.17)	(0.28)
	FC_NICARAGUA	0.03	-0.90***
		(0.08)	(0.34)
	FC_PANAMA	-1.83***	0.43
		(0.56)	(0.54)
Covariables			
	CC		-1.20***
			(0.36)
	PROALIM		-0.03***
			(0.01)
	LPIB		-1.22***
			(0.37)
	ICE		-0.32*
			(0.46)
	SUBALIMENTACIÓN (-1)		0.85***
			(0.03)
Efectos fijos de sección transversal		Si	Si
Efectos fijos periodos		No	No
n		117	117
R <sup>2</sup> corregido		0.92	0.99

**Fuente:** Elaboración propia con datos de FAO, BM, OCE y SIECA

**Nota:** Desviaciones típicas entre paréntesis. \* Significativo al 10%, \*\* Significativo al 5%, \*\*\* Significativo al 1%.

## Discusión

Los resultados evidencian una disminución significativa en la prevalencia de la subalimentación en varios países de Centroamérica tras la implementación del Tratado de Libre Comercio entre República Dominicana y Centroamérica y Estados Unidos (DR-CAFTA), el Acuerdo de Asociación Centroamérica - Unión Europea (AACUE) y el Tratado de Promoción Comercial entre Panamá y Estados Unidos (TPA). Estos hallazgos confirman la hipótesis de que la apertura comercial puede generar mejoras en la seguridad alimentaria, al incrementar los ingresos, facilitar el acceso a alimentos esenciales y fomentar el crecimiento del sector agrícola. Esto se encuentra en concordancia con varios de los estudios revisados para otros países en desarrollo (Véase Dithmer & Abdulai (2017); Marson et al., (2023) y Zakaria et al., (2016)).

El índice de control de corrupción evidencia un efecto negativo significativo sobre la subalimentación, resaltando el rol crucial de la institucionalidad en la implementación efectiva de políticas públicas. Este acierto respalda la literatura que argumenta que la buena gobernanza y la transparencia son fundamentales para garantizar que los recursos lleguen a los programas de seguridad alimentaria, como sugieren Zakaria et al., (2016) y Zanuto Andrade & Joaquim Fraga (2020).

El crecimiento económico, medido a través del PIB, presentó efectos indirectos en la reducción de la subalimentación, lo cual coincide con la literatura que argumenta que el crecimiento económico, aunque necesario, no es suficiente para garantizar mejoras

sostenibles en la seguridad alimentaria (Soriano & Garrido, 2016)

Se detectó que la capacidad productiva agrícola y el grado de complejidad de los productos exportados contribuye directamente a reducir la subalimentación, reforzando la importancia de fortalecer el sector agrícola como un mecanismo clave para garantizar la disponibilidad de alimentos, así mismo elevar los niveles de productividad agrícola para amortiguar choques externos. Estos resultados coinciden con los de otros autores como Dithmer & Abdulai (2017) y Zakaria et al., (2016) que también muestran que la capacidad productiva es clave para reducir la subalimentación.

La variabilidad en los impactos de los acuerdos comerciales analizados entre los países centroamericanos puede explicarse por las asimetrías de las estructuras productivas, la calidad institucional, el nivel de desarrollo y la capacidad de adaptación de los productores. Como señala prácticamente toda la literatura empírica revisada, todos estos son elementos primordiales que inciden en la capacidad de los países de obtener beneficios sociales positivos mediante los acuerdos comerciales.

## Conclusión

Los acuerdos comerciales como el Tratado de Libre Comercio entre República Dominicana y Centroamérica y Estados Unidos (DR-CAFTA), el Acuerdo de Asociación Centroamérica-Unión Europea (AACUE) y el Tratado de Promoción Comercial entre Panamá y Estados Unidos (TPA), han tenido un impacto heterogéneo en los niveles de

subalimentación en la región. Se encontró que en Costa Rica, El Salvador y Guatemala los efectos en la disminución de la subalimentación son bastantes significativos, en cambio en Nicaragua, Panamá y Honduras los efectos han sido menores. De forma general, el estudio encuentra que el aumento del comercio facilitado por los acuerdos ha favorecido a mejorar el acceso a alimentos y estimular el crecimiento económico. Sin embargo, las asimetrías institucionales, sociales y productivas, han provocado que el efecto en la subalimentación no haya sido uniforme entre los países de Centroamérica.

Los resultados identifican una persistencia en la subalimentación, lo que indica una alta inercia temporal, esto implica que la subalimentación de la población es un fenómeno estructural y de lenta reversión. Por lo tanto, los efectos positivos que pueden generar los acuerdos comerciales requieren de tiempo para consolidarse y deben acompañarse con políticas públicas complementarias. La seguridad alimentaria es explicada por factores multidimensionales producto que esta condición social es compleja de medir y explicar, pero se puede argüir que los acuerdos comerciales promueven la integración comercial de Centroamérica. Sin embargo, para lograr el impacto en la reducción de la subalimentación es necesario que los países fomenten políticas públicas orientadas a fortalecer la agricultura y la competitividad de las exportaciones.

La necesidad de complementar la apertura comercial con políticas de fortalecimiento productivo también ha sido resaltada en la literatura teórica. Rodrik (2007) sostiene que los países no crecen simplemente por abrir sus economías al comercio, sino porque logran

desarrollar capacidades productivas complejas que les permiten generar y sostener beneficios económicos a largo plazo. Un aspecto de especial atención es que los datos más recientes del Atlas de Complejidad Económica (2023) muestran que la mayoría de los países centroamericanos, excepto Costa Rica y Honduras, han descendido en el ranking global de complejidad económica (ICE) en los últimos años desde 1995, evidenciando una pérdida relativa de diversidad y sofisticación productiva. De continuar, esta tendencia puede limitar la capacidad de los países de la región para aprovechar plenamente los beneficios del comercio y para transformar esos beneficios en mejoras sostenibles en la seguridad alimentaria.

Los países de Centroamérica deben conducir acciones de políticas públicas que prioricen la inversión en la actividad económica agrícola, con énfasis en la pequeña agricultura y en la infraestructura productiva rural. Todo esto para lograr una disponibilidad local de alimentos, y poder fortalecer los sistemas alimentarios frente a choques externos como el cambio climático o la volatilidad de los precios internacionales. Así mismo, los resultados empíricos sugieren que la calidad institucional tiene un rol esencial en la reducción de la subalimentación. Por consiguiente, es fundamental mejorar los mecanismos de gobernanza, transparencia y rendición de cuentas en la gestión de los recursos públicos destinados a programas y proyectos de nutrición, agricultura y protección social.

Al igual que el fomento de la capacidad productiva, la relación entre calidad institucional y desarrollo ha sido ampliamente documentada en la literatura teórica y empírica. Acemoglu et al., (2005) y

Acemoglu & Robinson (2012) sostienen que el crecimiento económico y el bienestar social dependen fundamentalmente de la existencia de instituciones inclusivas, las cuales distribuyen el poder político de manera amplia y garantizan los derechos de propiedad y las libertades individuales. En contextos donde predominan instituciones extractivas o débiles, los beneficios de la apertura comercial tienden a concentrarse, pudiendo limitar su impacto positivo sobre indicadores sociales como la seguridad alimentaria. Por tanto, es crucial que los países de Centroamérica no solo logren fortalecer su base productiva, sino que también impulsen reformas institucionales que promuevan la equidad, la transparencia y la eficiencia en la gestión de los recursos públicos, asegurando que los beneficios del comercio lleguen efectivamente a los sectores más vulnerables.

## Referencias bibliográficas

- Acemoglu, D., Johnson, S., & Robinson, J. A. (2005). The Rise of Europe: Atlantic Trade, Institutional Change, and Economic Growth. *American Economic Review*, 95(3), 546-579.
- Acemoglu, D., & Robinson, J. A. (2012). *Why Nations Fail: The Origins of Power, Prosperity, and Poverty*.
- Adjaye-Gbewonyo, K., Vollmer, S., Avendano, M., & Harttgen, K. (2019). Agricultural trade policies and child nutrition in low- and middle-income countries: A cross-national analysis. *Globalization and Health*, 15(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s12992-019-0463-0>
- Ajila, A. (2022). *Trade openness and the triple burden of malnutrition*.
- Bejarano, C. A. (2021). *El impacto de la crisis sociopolítica nicaragüense de 2018 sobre el crecimiento del total de activos del sector bancario*. <https://doi.org/10.7764/tesisUC/ECO/61952>
- Bezuneh, M., & Yiheyis, Z. (2012). *The Effect of Trade Liberalization on Food Security: The Experience of Selected African Countries*. <https://dx.doi.org/10.5325/jafrideve.14.1.0013>
- Bezuneh, M., & Yiheyis, Z. (2014). Has Trade Liberalization Improved Food Availability In Developing Countries? An Empirical Analysis. *Journal of Economic Development*, 39(1), 63-78.
- Coad, P. R. (2012). *DR-CAFTA: An Impact Analysis Thus Far*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2178578>
- Cuevas García-Dorado, S., Cornselsen, L., Smith, R., & Walls, H. (2019). Economic globalization, nutrition and health: A review of quantitative evidence. *Globalization and Health*, 15(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s12992-019-0456-z>
- Dithmer, J., & Abdulai, A. (2017). Does trade openness contribute to food security? A dynamic panel analysis. *Food Policy*, 69, 218-230. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.04.008>
- FAO. (2006). *El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2006. La erradicación del hambre en el mundo: Evaluación de la situación diez años después de la Cumbre Mundial sobre la Alimentación*.
- FAO. (2016). *How does agricultural trade impact food security?* (17; Trade Policy Briefs). <https://openknowledge>.

[fao.org/server/api/core/bitstreams/1145c413-d222-4095-b6ab-f7252f7b31e5/content](https://fao.org/server/api/core/bitstreams/1145c413-d222-4095-b6ab-f7252f7b31e5/content)

FAO. (2023). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2023*. FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO; <https://doi.org/10.4060/cc3017es>

FAO. (2024). *The State of Agricultural Commodity Markets 2024—Trade and nutrition: Policy coherence for healthy diets*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cd2144en>

Galián, C. (2004). *El arroz se quemó en el DR-CAFTA: Cómo el Tratado amenaza los medios de vida de los campesinos centroamericanos* (Informe de Oxfam). Oxfam.

Ganuza, E., Morley, S., Robinson, S., & Vos, R. (2004). *¿Quién se beneficia del libre comercio? Promoción de exportaciones y pobreza en América Latina y el Caribe en los 90*. United Nations Development Programme. <https://hdl.handle.net/10568/157416>

Glauber, J., Piñeiro, V., & Gianatiempo, J. P. (2025, abril 8). *How ‘reciprocal tariffs’ harm agricultural trade*. IFPRI. <https://www.ifpri.org/blog/how-reciprocal-tariffs-harm-agricultural-trade/>

Hathaway, D. E. (2003). *The Impacts of U.S. Agricultural and Trade Policy on Trade Liberalization and Integration via a U.S.-Central American Free Trade Agreement*. <http://dx.doi.org/10.18235/0011098>

Hawkes, C., & Thow, A. M. (2008). Implications of the Central America-Dominican Republic-Free Trade Agreement for the nutrition transition in Central America. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 24(5), 345-360. <https://doi.org/10.1590/S1020-49892008001100007>

Ibrahim, R. L., Al-Mulali, U., Ajide, K. B., Mohammed, A., & Al-Faryan, M. A. S. (2023). The Implications of Food Security on Sustainability: Do Trade Facilitation, Population Growth, and Institutional Quality Make or Mar the Target for SSA? *Sustainability*, 15(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/su15032089>

Magrini, E., Montalbano, P., Nenci, S., & Salvatici, L. (2014). Agricultural Trade Policies and Food Security: Is there a Causal Relationship? *Working Papers*, Article 9/14. <https://ideas.repec.org//p/raq/wpaper/9-14.html>

- Marson, M., Saccone, D., & Vallino, E. (2023). Total trade, cereals trade and undernourishment: New empirical evidence for developing countries. *Review of World Economics*, 159(2), 299-332. <https://doi.org/10.1007/s10290-022-00468-z>
- Mary, S. (2019). *Hungry for free trade? Food trade and extreme hunger in developing countries*. [https://ideas.repec.org/a/spr/ssefpa/v11y2019i2d10.1007\\_s12571-019-00908-z.html](https://ideas.repec.org/a/spr/ssefpa/v11y2019i2d10.1007_s12571-019-00908-z.html)
- McCorrison, S., Hemming, D. J., Lamontagne-Godwin, J. D., Osborn, J., Parr, M. J., & Roberts, P. D. (2013). What is the evidence of the impact of agricultural trade liberalisation on food security in developing countries? A systematic review. *Developing Countries*. <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a08a2240f0b6497400043c/Q11-Agri-liberalisation-2013McCorrison.pdf>
- Nieto, A. M., & Reyes, G. E. (2019). *Seguridad alimentaria e importación de alimentos en América Latina y el Caribe entre 1992 y 2016* [Universidad del Rosario]. <https://repository.urosario.edu.co/server/api/core/bitstreams/5d5f8085-1b58-4683-8be6-9e99179b70c2/content>
- Organización Mundial de la Salud, Smith, R., Blouin, C., Mirza, Z., Drager, N., & Beyer, P. (2015). *Trade and health: Building a national strategy*. OMS. <https://iris.who.int/handle/10665/183934>
- Ortiz Mena, L., & Cascante Hernández, K. (2023). La seguridad alimentaria en el Salvador bajo la perspectiva del regionalismo abierto: El Tratado de Libre Comercio (Cafta). *Revista Diecisiete: Investigación Interdisciplinar para los Objetivos de Desarrollo Sostenible.*, 09(OCTUBRE 2023), 103-116. <https://doi.org/10.36852/2695-4427-2023-09.05>
- Rodrik, D. (2007). *One Economics, Many Recipes: Globalization, Institutions, and Economic Growth*. Princeton University Press.
- Rojas Rodríguez, J. R., & Matschke, X. (2023). The CAFTA-DR Free Trade Agreement—Analyzing its effects in a modern gravity framework. *International Economics and Economic Policy*, 20(1), 27-93. <https://doi.org/10.1007/s10368-022-00551-8>

- Rother, B., Sosa, S., Kim, D., Kohler, L. P., Pierre, G., Kato, N., Debbich, M., Castrovillari, C., Sharifzoda, K., Heuvelen, E. V., Machado, F., Thevenot, C., Mitra, P., & Fayad, D. (2022). *Tackling the Global Food Crisis: Impact, Policy Response, and the Role of the IMF*. <https://www.elibrary.imf.org/view/journals/068/2022/004/article-A001-en.xml>
- Saglam, B. B. (2023). “Empty Plates”: Impacts of Food Prices, Inequality and Trade on Malnutrition. *Revista de Economía Mundial*, 63, Article 63. <https://doi.org/10.33776/rem.vi63.6949>
- Salazar, L., & Muñoz, G. (2019). *Seguridad alimentaria en América Latina y el Caribe*. BID. [https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/Seguridad\\_alimentaria\\_en\\_Am%C3%A9rica\\_Latina\\_y\\_el\\_Caribe.pdf](https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/Seguridad_alimentaria_en_Am%C3%A9rica_Latina_y_el_Caribe.pdf)
- Sánchez, M. (2004). *Rising Inequality and Falling Poverty in Costa Rica’s Agriculture during Trade Reform: A Macro-Micro General Equilibrium Analysis*.
- Sánchez, M., & Vos, R. (2005a). *Impacto del CAFTA en el crecimiento, la pobreza y la desigualdad en Nicaragua. México y La Haya: Oficina Subregional de la CEPAL en México y ISS (mimeógrafo)*.
- Sánchez, M., & Vos, R. (2005b). *Impacto del Tratado de Libre Comercio con los Estados Unidos en el crecimiento, la pobreza y la desigualdad en Panamá. Una evaluación ex-ante usando un modelo de equilibrio general computable*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26775.62885>
- Shankar, B. (2018). *The Influence of Agricultural, Food and Trade Policies on Diets* (FAO Technical Notes). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33429.42720>
- Sillah, B. (2025). *US Import Tariff Escalation: Are there unintended Consequences for IsDB Member Countries? 1*. <https://papers.ssrn.com/abstract=5193412>
- Soriano, B., & Garrido, A. (2016). How important is economic growth for reducing undernourishment in developing countries? *Food Policy*, 63, 87-101. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2016.07.004>
- Valdivieso, J. (2023). *Efectos de la apertura comercial sobre la nutrición en Perú*. <https://repositorio.up.edu>

[pe/bitstream/handle/11354/3825/Valdivieso%2c%20Jennifer\\_Trabajo%20de%20investigacion\\_Maestria\\_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://bitstream/handle/11354/3825/Valdivieso%2c%20Jennifer_Trabajo%20de%20investigacion_Maestria_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Van den Broeck, G., & Maertens, M. (2016). Horticultural exports and food security in developing countries.

*Global Food Security*, 10, 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2016.07.007>

Wooldridge, J. M. (2012). *Introductory Econometrics: A Modern Approach* (Fifth edition). Cengage Learning.

[https://cbpbu.ac.in/userfiles/file/2020/STUDY\\_MAT/ECO/2.pdf](https://cbpbu.ac.in/userfiles/file/2020/STUDY_MAT/ECO/2.pdf)

Zakaria, M., Junyang, X., & Fida, B. (2016). Trade Openness, Malnourishment and Income Inequality in South

Asia. *African and Asian Studies*, 15, 347-371. <https://doi.org/10.1163/15692108-12341114>

Zanuto Andrade, H. C., & Joaquim Fraga, G. (2020). *Corrupción, estructura productiva y desarrollo económico*

*en los países en desarrollo. Revista de la CEPAL No 130*. [https://www.cepal.org/es/publicaciones/45425-](https://www.cepal.org/es/publicaciones/45425-corrupcion-estructura-productiva-desarrollo-economico-paises-desarrollo)

[corrupcion-estructura-productiva-desarrollo-economico-paises-desarrollo](https://www.cepal.org/es/publicaciones/45425-corrupcion-estructura-productiva-desarrollo-economico-paises-desarrollo)

## Segundo Lugar

Formulación de un sucedáneo de chocolate fortificado con pulpa de carao (*Cassia grandis*) como anti-anémico de bajo costo para la región centroamericana

Formulation of a low-cost alternative to caraway (*Cassia grandis*) fortified chocolate as an anti-anemic for the Central American region

### Autores

Jhunion Marcia-Fuentes\*<sup>1</sup>, Jenny Ruiz-Cardona<sup>1</sup>, Lilian Sosa<sup>2,3</sup>

### Fecha de elaboración del artículo

12 de diciembre de 2024

### Palabras clave

Carao, aceptación sensorial, compuestos bioactivos, caracterización fisicoquímica, alimentos funcionales.

---

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Agricultura. Barrio El Espino, Catacamas, Km 215 Carretera hacia Dulce Nombre de Culmí, Olancho, Honduras. C.P. 16201.

<sup>2</sup> Instituto de Investigaciones en Microbiología (IIM), Facultad de Ciencias, Escuela de Microbiología, Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), Tegucigalpa, Honduras.

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), Tegucigalpa, Honduras.

\*Autor para correspondencia: [jmarcia@unag.edu.hn](mailto:jmarcia@unag.edu.hn)

## Resumen

El carao (*Cassia grandis*) es una planta que posee compuestos bioactivos con interés nutricional, farmacológico y medicinal. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue desarrollar un producto sucedáneo de chocolate fortificado con pulpa de carao al 30 %, 20 % y 5 %, basado en su aceptabilidad sensorial y características fisicoquímicas. Los resultados indicaron que la fórmula más aceptada, fue la adición de carao al 5 % para elaborar un sucedáneo de chocolate. Esta formulación presenta pH de 4.8, viscosidad de 1600 cP, sólidos solubles de 70%, actividad de agua de 0.60 y dureza de 11 Newton. Dentro de su composición nutricional contiene 8% humedad, 34% grasa, 2% proteína, 2% ceniza, 6% fibra, 48% carbohidratos, 29.7 mg de hierro y 520 kcal. Por su calidad nutricional, reológica y sensorial, el carao podría ser utilizado como alternativa de ingrediente funcional para el diseño de alimentos antianémicos de bajo costo.

## Abstract

The carao (*Cassia grandis*) is a plant with bioactive compounds of nutritional, pharmacological, and medicinal interest. Therefore, this research aimed to develop a substitute product for chocolate fortified with caraway pulp at 30 %, 20 %, and 5 %, based on its sensory acceptability and physicochemical characteristics. The results indicated that the most accepted formula was the addition of carao to 5% to make a chocolate substitute. This formulation has a pH of 4.8, a viscosity of 1600 cP, soluble solids of 70%, a water activity of 0.60, and a hardness of 11 Newton. Its

nutritional composition contains 8% moisture, 34% fat, 2% protein, 2% ash, 6% fiber, 48% carbohydrates, 29.7 mg Fe (inorganic iron), and 520 kcal/100 g. Due to its nutritional, rheological, and sensory quality, carao could be used as a functional ingredient alternative for the design of low-cost anti-anemic foods.

## Introducción

En la actualidad, uno de los retos de la industria nutracéutico y alimentaria consiste en generar alimentos nutritivos con sabor agradable diferentes a los saborizantes ya utilizados (sabor cereza, fresa, vainilla y banano) y con alto contenido nutricional y bajo en azúcares. Tal es el caso del sabor a chocolate que tiene en general una gran aceptación por las personas. Así mismo, algunos saborizantes pueden causar alergias por lo que es ideal pensar en nuevas alternativas que sean menos perjudiciales para el consumidor. Para ello, se requieren de compuestos que sustituyan al chocolate auténtico por análogos que sean bajos en grasa con atributos sensoriales similares al producto original, sin variaciones en las condiciones de procesamiento, buscando de esta manera aumentar o equiparar los valores nutricionales del chocolate original, además, de emplearse para la sustitución de las semillas de cacao en productos sucedáneos (Morón et al., 2015; Montero et al., 2022).

El Codex Alimentarius (2019); define en su normativa que el chocolate es un producto que se produce a partir de la almendra descortezada, cacao en pasta, tortas prensadas de cacao, cacao en polvo o licor de cacao con o sin azúcar añadido, manteca de cacao, sustancias aromatizantes o saborizantes e

ingredientes optativos. Sin embargo, un producto análogo o sucedáneo de chocolate comprende a productos similares al chocolate que pueden estar elaborados o no a base de cacao pero que tienen propiedades organolépticas parecidas e involucran en su formulación materias primas sustitutas parciales del cacao entre estas se encuentra el carao (*Cassia grandis*) (Codex, 2019).

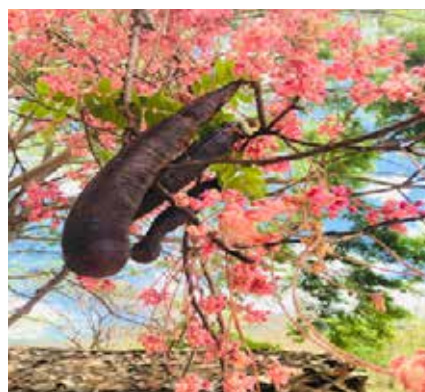
Alrededor del mundo existen aproximadamente 500 especies de *Cassia* entre ellas se encuentra la *C. grandis* que pertenece a la familia de las Fabaceae y se conoce con diferentes nombres como carao, carague y cañandong (Lagarto y Guerra, 2000; Manzanares, 2012). Esta especie, suele confundirse con otras especies como la *Cassia fistula* que en algunos países de Centroamérica también le llaman de la misma forma (carao), sin embargo, es importante destacar que son especies diferentes.

La *Cassia grandis* al ser un árbol tropical, presenta una floración en épocas de verano, entre los meses de febrero a mayo, aunque esta especie puede dar frutos durante todo el año, sin embargo, la época de recolección y pico de producción, es entre los meses de marzo y abril (Barrios & Victoire, 2018). Ese árbol puede llegar a alcanzar una altura de 30 m con un diámetro de 100 cm aproximadamente, además, su fruto es una vaina rígida que alcanza hasta 75 cm de largo, adentro contiene entre 60 y 80 semillas e igual número de lóculos separados por tabiques transversales muy delgados de color amarillo y en su interior contienen una pulpa de color rojo oscuro, de consistencia espesa, de olor fuerte, sabor dulce y fácilmente soluble en agua (Fig. 1) (Ramos, Paz & Ortiz, 2014).

Figura 1. Árbol y fruto del carao



a) Árbol del carao



b) Fruto del carao

**Fuente:** adaptado de Marcía *et al.*, (2021), sobre el aprovechamiento del carao a nivel nutricional, medicinal y farmacológico.

El área de distribución geográfica del árbol de *C. grandis* en estado silvestre va desde México hasta América del Sur. Específicamente, es nativa de los países que forman parte del Sistema de la Integración Centroamericana SICA como Belice, Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica, Panamá y República Dominicana, también crece en Colombia, Venezuela, Puerto Rico, Brasil, Chile y Bolivia (Orwa, 2009). En cuanto al clima, la *C. grandis* requiere luz solar directa y brillante para un crecimiento óptimo (i.e. 25 a 32°C), prospera en condiciones cálidas y húmedas típicas de los climas tropicales (i.e. 80%).

Dentro de las propiedades nutricionales de la *Cassia grandis* podemos mencionar: su contenido en hierro por lo que ha sido ampliamente utilizado en medicina tradicional para tratar la anemia en formato de refresco o extracto (Medina et al., 2023). Además, contiene flavonoides los cuales le confieren una impresionante capacidad antioxidante (Fuentes et al., 2024), y sirve como precursor de la vitamina A (retinol) debido a su contenido de carotenoides quienes están relacionados con la salud ocular, cardiovascular y metabólica (Montero et al., 2025). Asimismo, *Cassia grandis* contiene alcaloides, cumarinas, flavonoides, aminoácidos libres, aminas, fenoles, taninos, azúcares reducidos, resinas, saponinas, esteroides y triterpenos (Fuentes et al., 2024). Por otro lado, su uso en células intestinales a nivel in vitro ha demostrado prevenir la inflamación y la muerte celular, lo que sugiere un nuevo efecto farmacéutico potencial (Madelá & García 2021).

Por lo anterior, el fruto de carao (*C. grandis*) podría ser

utilizada como sustituto del cacao en la elaboración del chocolate debido a que es una fruta baja en grasa y azúcares (para aquellas personas con diabetes); igualmente, contiene aceites volátiles, sustancias cerosas, agua, proteínas y aminoácidos esenciales como arginina, leucina, metionina, fenilalanina y triptófano (para personas con déficit proteínico) (Thirumal et al., 2012). Además, es una buena fuente de minerales como Fe y Mn en comparación con otros frutos como la manzana, el albaricoque, el melocotón, la pera y la naranja (Reyhan et al., 2014, Marcía et al., 2024a) (para pacientes con anemia).

De igual manera al fruto de carao, se le atribuye propiedades antimicrobianas y medicinales debido a la presencia de flavonoides, minerales, su capacidad de inhibir la enzima acetil colinesterasa y su efecto simbiótico en yogur (Lafourcade et al., 2014; Kabila et al., 2017, Fuentes et al., 2021, Chen et al., 2010; Prada et al., 2016; Prada et al., 2019; Prada et al., 2020, Marcía et al., 2024b). Asimismo, por su calidad fitoquímica y contenido de moléculas bioactivas, es considerado como un ingrediente potencialmente funcional (Marcía et al., 2020a; Marcía et al., 2020b; Marcía et al., 2021; Fuentes et al., 2021). También, por su contenido de moléculas bioactivas con potencial antioxidante (por lo que no se requeriría de antioxidantes tipo benzoatos en los alimentos) y antiinflamatorio, puede emplearse en la lucha contra el cáncer (Alemán et al., 2023a; Alemán et al., 2023b; Marcía et al., 2023a; Marcía et al., 2023b).

Sin embargo, son pocos las investigaciones que validan el aprovechamiento tecnológico del carao, principalmente en el desarrollo de nuevos productos

fortificados. Dentro de los estudios en donde se ha utilizado el carao como activo funcional podemos mencionar a Marcía et al., (2020b); que desarrollaron un estudio preliminar del efecto de la adición de la harina de carao sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de un huevo en polvo fortificado. Asimismo, Albuquerque et al., (2014); validó el método de extracción de galactomananos de las semillas del carao como sustituto parcial de las gomas alimenticias. Otros investigadores como, Morón et al., (2015) utilizaron la *Cassia fistula* como sustituto de cacao en el desarrollo de una pasta de chocolate, para elaborar productos sucedáneos en chocolatería mediante el cumplimiento de la normativa del Codex Alimentario.

Debido a las bondades del carao como alimento funcional y en medicina, esta investigación tuvo como objetivo desarrollar un producto sucedáneo de chocolate fortificado, formulado con pulpa de carao (*Cassia grandis*), basado en su aceptabilidad sensorial, características físico-químicas y microbiológicas para futuro uso en la industria nutracéutica.

## Materiales y Métodos

El estudio se realizó en los laboratorios de Biotecnología y Análisis Sensorial de la Universidad Nacional de Agricultura (UNAG), ubicada en el municipio de Catacamas, Departamento de Olancho, Honduras y en la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAG) en Ciudad Universitaria. Para su alcance se implementaron tres etapas experimentales: en la primera etapa, se elaboraron formulaciones de sucedáneos de chocolate fortificado con pulpa de

carao (*C. grandis*) al 30%, 20% y 5%; en la segunda etapa se seleccionó la formulación que obtuvo mayor aceptación mediante análisis sensorial de tipo afectivo con arreglo de bloques balanceados completos; para la tercera etapa se evaluaron las características fisicoquímicas de las formulaciones.

### Etapa 1. Elaboración de las diferentes formulaciones

Se seleccionaron frutos de carao maduros y sin daños mecánicos procedentes de la Reserva Biológica de la Universidad Nacional de Agricultura, ubicada en Catacamas, Olancho, Honduras.

Para la preparación de las muestras se siguió la metodología propuesta por Marcía et al., (2020a); a partir del lavado de los frutos de carao con abundante agua con el propósito de eliminar agentes físicos de la corteza, seguidamente se secaron a temperatura del medio ( $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ) durante 24 horas y se extrajo de forma manual la pulpa del fruto, cuidando las condiciones de higiene con el uso de mascarillas, guantes y recipientes de porcelana previamente esterilizados.

Se tomó por triplicado muestras de 10 kg de patrón de pulpa de carao fermentada durante 72 h con levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) al 2% del mosto, siguiendo la metodología propuesta por Nebesny y Zyzelewicz (2005), con ligeras modificaciones. Posteriormente, se elaboraron variantes de sucedáneo de chocolate con 30%, 20% y 5% de pulpa fermentada de carao, en una mezcla de licor de cacao al 30 %, azúcar al 40 %, leche en polvo al 9 %, manteca de cacao al 20

% y lecitina de soya al 1 % como estabilizante (Tabla 1), siguiendo la metodología propuesta por Morón et al., (2015) con ligeras modificaciones. Obteniendo tres formulaciones principales, más el control, todas desarrolladas por triplicado, para un total de 12 unidades experimentales.

**Tabla 1.** Formulaciones del producto análogo al chocolate

Tratamientos (T)	Licor de cacao (%)	Pulpa de carao (%)	Leche en polvo (%)	Azúcar (%)	Manteca de cacao (%)	Lecitina (%)
1	30	5	9	40	20	1
2	30	20	9	40	20	1
3	30	30	9	40	20	1
4	30	0	9	40	20	1

**Fuente:** elaboración propia, adaptada de la metodología de balance de masa de Valiente (2001).

## Etapa 2. Selección de la formulación con mayor aceptación

Las diferentes formulaciones fueron sometidas a una evaluación sensorial a escala de laboratorio, tomando como variables de respuesta textura, aroma, color, sabor y aceptabilidad general a partir de pruebas hedónicas de 9 puntos (donde 1 es me disgusta muchísimo y 9 es me gusta muchísimo). Las muestras se presentaron en recipientes plásticos libres de olores y bajo las mismas condiciones para

todos los jueces. Se utilizó agua para el lavado de la boca de los panelistas entre muestras con 75 jueces tipo afectivos tomados aleatoriamente, cumpliendo con la norma ISO 66:58:2008 (Benítez, 2008; Marcía et al., 2019; Mendoza et al., 2023). La formulación más aceptada, se denominó la formula optimizada para esta investigación.

### Etapa 3. Evaluación fisicoquímica de la formulación optimizada

Se determinó la calidad fisicoquímica de la formulación optimizada con 100 g de muestra; para cada prueba por triplicado, realizándose los análisis de viscosidad (Viscosímetro PCE-RVI-1, Barcelona, España) mediante la normativa ISO 1652:2004, contenido de sólidos solubles a partir de refractometría (BOECO, Munich, Alemania), pH (Eutech Instrument, Carolina, USA), actividad de agua mediante análisis instrumental por medio de un Aqualab 4TE (INFITEK, WA, Estados Unidos) a partir de la norma AOAC 978.18, la textura se obtuvo mediante texturometro (Broockfield, California, USA) a través, de la norma AACC 66-50.

Para la determinación de la composición nutricional, se empleó análisis químico de humedad, cenizas y fibra con la norma AACC 39-01.01, proteína mediante la normativa AOAC 2001.11, grasa a partir de AOAC 2003.06, carbohidratos digeribles y energía mediante la norma 21CFR101.9, el contenido de hierro se obtuvo a partir de absorción atómica de llama por el método de la AOAC 999.10 (Maldonado *et al.*, 2020; Montero *et al.*, 2020).

### Análisis estadístico

Para la interpretación de los resultados, se empleó el programa estadístico IBM, SPSS, versión 25 mediante estadísticas descriptivas, estadígrafos y pruebas de comparaciones múltiples de Tukey con un valor  $p \leq 0.05$  (Pedroza y Dicovskyi, 2007).

## Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos en la evaluación sensorial determinaron que la formulación elaborada con pulpa de carao al 5 % (T<sub>1</sub>), se obtuvo la mayor aceptación entre las formulaciones de prueba y por ello se consideró como la formulación optimizada (Tabla 2). Asimismo, esta formulación no es diferente estadísticamente con respecto al control (T<sub>4</sub>). Estos resultados coinciden con lo expuesto por Marcía *et al.*, (2020b) y Medina *et al.*, (2023); quienes manifiestan que la incorporación de carao para fortificar alimentos es una alternativa para el diseño de formulaciones en personas con regímenes especiales de alimentación como deportistas de alta rendimiento y personas anémicas, siendo esta una oportunidad para el desarrollo de alimentos funcionales con calidad sensorial (Paz *et al.*, 2022). Además, de acuerdo con Morón *et al.* (2015); la pulpa de algunas *Cassia* como la *C. fistula* también podrían utilizarse como saborizantes sucedáneos del cacao.

**Figura 2.** Formula optimizada de un sucedáneo de chocolate



a) Pulpa de carao



b) Chocolate análogo

**Fuente:** elaboración propia, adoptado de la metodología de Cordeiro et al., (2025), para la obtención de la pulpa de carao como materia prima no convencional en el desarrollo de alimentos funcionales.

**Tabla 2.** Análisis estadístico de la evaluación sensorial

Tratamientos	Color	Olor	Sabor	Textura	Aceptabilidad general
T <sub>1</sub> (carao al 5%)	6.76 ± 1.53 a	6.56 ± 1.50 a	6.63 ± 1.51 a	6.76 ± 1.56 a	6.62 ± 1.51 a
T <sub>2</sub> (carao al 20%)	5.30 ± 1.85 b	5.03 ± 1.65 b	5.23 ± 1.77 a, b	5.26 ± 1.73 b	6.21 ± 1.77 a, b
T <sub>3</sub> (carao al 30%)	4.90 ± 1.75c	4.89 ± 1.56 b	4.99 ± 1.68 b	4.97 ± 1.68 b	5.87 ± 1.76 b
T <sub>4</sub> (control)	6.89 ± 1.51a	6.87 ± 1.49 a	6.83 ± 1.54 a	6.83 ± 1.57 a	6.76 ± 1.52 a

\*Media ± Desviación

\*\*Letras diferentes en la misma columna, indican diferencias a partir de pruebas de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

**Fuente:** elaboración propia, adaptada de la metodología para evaluación sensorial galletas con ingredientes funcionales provenientes de plantas nativas como el teosinte Delarca *et al.*, (2023).

La tabla 3, muestra los resultados obtenidos en el análisis fisicoquímico de la muestra control (T<sub>4</sub>) y la formula optimizada correspondiente a la adición de carao al 5% (T<sub>1</sub>). Los hallazgos expresan que, al adicionar carao en el desarrollo de un sucedáneo de chocolate, este aumenta ligeramente su pH, el contenido de solidos solubles y actividad de agua, sin embargo, redujo su viscosidad y textura. Estos

resultados coinciden con los estudios realizados por Hernández (2009) y por Vallejo *et al.*, (2016). Los valores de viscosidad y pH se encontraron dentro de los límites establecidos para el chocolate. (viscosidad de 2 a 100,000 cP y pH entre 3.0 y 6.0).

**Tabla 3.** Caracterización fisicoquímica de la muestra control y optimizada

Tipo de muestra	pH	°Brix	Viscosidad (cP)	Aw	Textura (N)
Muestra control (T <sub>4</sub> )	4.5 ± 0.5	65 ± 1	4000 ± 250	0.52 ± 0.5	27 ± 1
Fórmula optimizada (T <sub>1</sub> )	4.8 ± 0.5	70 ± 1	1600 ± 180	0.60 ± 0.5	11 ± 1

\*Media ± Desviación.

**Fuente:** elaboración propia, adaptada de la metodología de Martínez *et al.*, (2025), para análisis fisicoquímico en alimentos.

La textura del chocolate es una variable reológica importante, ya que de ella depende la crujencia y la capacidad de solubilizarse a temperatura corporal. Los resultados derivados de esta investigación evidencian una textura entre 27 y 11 N, en formulaciones de chocolate amargo tradicional (control) y la formulación optimizada, respectivamente. El valor de la fórmula optimizada es menor lo que coincide con lo reportado por Alvis *et al.*, (2011); quien expresó que el chocolate amargo tradicional debe tener una

textura máxima de 38.3 N, para ser lo suficientemente firme para mantener su forma y masticabilidad.

En cuanto a la duración del producto, se espera que sea estable ya que es factible que el cacao tenga sustancias bacteriostáticas naturales que afecten el crecimiento microbiano, debido a que muchos alimentos contienen compuestos naturales con actividad antimicrobiana, que en estado natural pueden desempeñar el papel de prolongadores de vida útil del propio alimento (Rodríguez, 2011).

**Tabla 4.** Composición nutricional del chocolate fortificado y control (100 g)

Análisis	Control (T <sub>4</sub> )	Fórmula optimizada (T <sub>1</sub> )
Humedad	4.0 ± 0.2%	8 ± 0.5%
Ceniza	1.5 ± 0.3%	2.0 ± 0.3%
Proteína	0.5 ± 0.1%	2.0 ± 0.1%
Grasa	45.0 ± 0.5%	34.0 ± 0.5%
Fibra	5.0 ± 0.2%	6.0 ± 0.2%
Carbohidratos	44.0 ± 0.5%	48.0 ± 0.5%
Energía	580.00 ± 20.0 kCal	520.00 ± 20.0 kCal
Contenido de Hierro	8 mg	29.7 mg

\*Media ± Desviación.

**Fuente:** elaboración propia, adaptada de la metodología de Martínez *et al.*, (2025).

La tabla 4, representa un análisis comparativo entre la muestra control y la fórmula optimizada. En la cual, la fórmula optimizada evidenció un aumento en su contenido de humedad, proteínas, fibra y carbohidratos, asimismo, expresa una reducción en su contenido de grasa, lo que indica una mejora en la calidad nutricional atribuible al carao. Además, aunque el contenido energético de ambos grupos es similar, la fórmula optimizada tiene un perfil nutricional más equilibrado. Este resultado, corrobora los de Moron *et al.*, (2015), quienes afirman que agregar *Cassia fistula* a la elaboración de un producto sucedáneo de chocolate mejora su perfil sensorial y calidad nutricional. Esto se debe porque la pulpa de carao tiene un mayor contenido de proteínas y azúcares, y un menor contenido de grasa en comparación con el cacao (Marcía *et al.*, 2020a; Escobar *et al.*, 2021, Tabora *et al.*, 2024).

Desde esta perspectiva, la incorporación de *Cassia grandis* como ingrediente funcional en sucedáneos de chocolate se alinea estratégicamente con los marcos de política pública impulsados por el Sistema de la Integración Centroamericana (SICA), particularmente en tres ejes prioritarios:

- Seguridad alimentaria y nutrición: para promover el uso de recursos endémicos y combatir la malnutrición y enfermedades no transmisibles (i.e. diabetes y anemia). En este sentido, el carao, por su perfil bajo en azúcares y alto en concentraciones de hierro, podría integrarse en programas de complementación alimentaria, especialmente en zonas rurales con altos índices de pobreza nutricional (Medina *et al.*, 2023).

- Desarrollo económico inclusivo: para fomentar cadenas de valor basadas en biodiversidad local. En este sentido, el cultivo y procesamiento de *C. grandis* ofrece oportunidades para agricultores y Pymes agroalimentarias, articulándose con iniciativas como Rutas Agroproductivas o Clústeres de Innovación. Su adaptabilidad climática (Orwa, 2009) lo hace resiliente ante crisis como las generadas por el cambio climático.
- Salud pública y sostenibilidad: para reducir dependencia de importaciones de alimentos ultraprocesados. En este sentido, el carao, al sustituir aditivos sintéticos (Marcía *et al.*, 2023b), podría regularse bajo los estándares del Codex Alimentarius Centroamericano, fortaleciendo normativas como el Reglamento de Alimentos Fortificados.

## Conclusión

Se determinó que el uso de carao (*C. grandis*) al 5 % en la elaboración de un sucedáneo de chocolate con 30% de grano de cacao, fue la formulación que obtuvo mayor aceptación en la evaluación sensorial considerando los atributos sabor, color olor, textura y aceptación general. Asimismo, se obtuvieron valores mayores en pH y porcentaje de sólidos solubles, sin embargo, disminuyó su consistencia en comparación con el control. Con relación a la calidad nutricional, la fórmula optimizada mostró mejoras notables en su contenido de proteínas, fibra y carbohidratos, con reducción en el contenido de grasa, indicando un

perfil nutricional más balanceado. De acuerdo a estos resultados, el caraao representa una posibilidad para la industria alimentaria y nutracéutica en el desarrollo de sucedáneo de chocolate fortificado a partir de nutrientes provenientes de plantas endémicas de Centroamérica, especialmente en aquellas personas con anemia y/o bajo nivel de hemoglobina en sangre. Recomendamos realizar este tipo de sucedáneos del chocolate haciendo uso de edulcorantes tipo Stevia sustituyendo a el azúcar.

De igual manera, el desarrollo de sucedáneos de chocolate a base de *C. grandis* representa una innovación con significativo impacto socioeconómico, al abordar dos desafíos globales: la demanda de alimentos nutritivos con perfiles sensoriales atractivos y la necesidad de alternativas accesibles para poblaciones vulnerables. Por un lado, su bajo contenido en grasas y azúcares lo posiciona como una opción viable para personas con diabetes, anemia o déficit proteico, contribuyendo a la seguridad alimentaria. Por otro, su cultivo en países pertenecientes al SICA como Honduras, Nicaragua y Costa Rica, promueve diversas oportunidades económicas para agricultores locales, al integrarse en cadenas de valor agroindustriales sostenibles.

Además, su capacidad para sustituir aditivos sintéticos y su potencial nutracéutico podrían reducir costos en salud pública. Asimismo, por su adaptabilidad climática y propiedades funcionales, se puede considerar como un recurso estratégico para diversificar la industria alimentaria, promover soberanía alimentaria y generar empleo en zonas tropicales, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 2, 3 y 8.

## Conflicto de interés

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés en esta investigación.

## Financiamientos

Esta investigación fue financiada por el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (IDRC) a partir del fondo de investigación 31-HN del Consejo Superior Universitario Centroamericano (CSUCA) (Ref. IDRC-CSUCA-31-HN).}

## Agradecimientos

Se agradece a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería en Tecnología Alimentaria de la Universidad Nacional de Agricultura y la población de Catacamas, Olancho, Honduras, por el apoyo brindado para el desarrollo de las evaluaciones sensoriales.

## Bibliografía

- Alvis, A., Pérez, L., Arrazola, G. (2011). Determinación de las Propiedades de Textura de Tabletas de Chocolate Mediante Técnicas Instrumentales. *Información tecnológica*, 22(3), 11-18.
- Albuquerque PBS, Barros W, Santos GRC, Correia MTS, Mourão PAS, Teixeira JA, Carneiro-da-Cunha MG. (2014). Characterization and rheological study of the galactomannan extracted from seeds of *Cassia grandis*. *Carbohydr. Polym*, 104:127-134.
- Aleman, R. S., Marcia, J., Page, R., Kazemzadeh Pournaki, S., Martín-Vertedor, D., Manrique-Fernández, V & Aryana, K. (2023a). Effects of Yogurt with Carao (*Cassia grandis*) on Intestinal Barrier Dysfunction,  $\alpha$ -glycosidase Activity, Lipase Activity, Hypoglycemic Effect, and Antioxidant Activity. *Fermentation*, 9(6), 566.
- Aleman, R.S.; Page, R.; Cedillos, R.; Montero-Fernández, I.; Fuentes, J.A.M.; Olson, D.W.; Aryana, K. (2023b). Influences of Yogurt with Functional Ingredients from Various Sources That Help Treat Leaky Gut on Intestinal Barrier Dysfunction in Caco-2 Cells. *Pharmaceuticals*, 16, 1511.
- Benítez, B. (2008). Composición proximal, evaluación microbiológica y sensorial de una galleta formulada a base de harina de yuca y plasma de bovino, *Revista Interciencia, INCI*, 33 (1), 61-65.
- Cordeiro, F. M., Bedoya, S. G., Santos, D. A., Santos, R. S., Bacelar, T. V., Buarque, F. S., ... & Lima, Á. S. (2025). *Cassia grandis* Lf Pods as a Source of High-Value-Added Biomolecules: Optimization of Extraction Conditions and Extract Rheology. *Biomass*, 5(2), 24.
- Chen Y, Peng C, Sullivan C, Dongguang L, Shaoguang L. (2010). Critical molecular pathways in cancer stem cells of chronic myeloid leukemia. *Journal of the Leukemia Society of America, Leukemia Research Fund*, 24(9): 1545-1554.
- Codex Alimentarius. (2019). Norma para el chocolate y los productos del chocolate. *CODEX STAN 87-1981*, Rev.1-2003. 2 pp.
- Delarca Ruiz, F., Aleman, R. S., Kazemzadeh Pournaki, S., Sarmiento Madrid, M., Muela, A., Mendoza, Y., ... & King, J. M. (2023). Development of Gluten-Free Bread Using Teosinte (*Dioon mejiae*) Flour in Combination with High-Protein Brown Rice Flour and High-Protein White Rice Flour. *Foods*, 12(11), 2132.

- Escobar, Á. O. F., Trejo, G. C. H., Reyna, V. R. V., Soto, N. R. V., & Fuentes, J. A. M. (2021). Elaboración de Licor Añejo con Almendras de Cacao Nacional (*Theobroma cacao* L.) residual de la clasificación para exportación. *Revista InGenio*, 4(2), 37-48.
- Fuentes JAM, López-Salas L, Borrás-Linares I, Navarro-Alarcón M, Segura-Carretero A, Lozano-Sánchez J. (2021). Development of an innovative pressurized liquid extraction procedure by response surface methodology to recover bioactive compounds from carao Tree Seeds. *Foods*, 10 (2): 398.
- Fuentes, J. M., de Jesús Álvarez Gil, M., Zumbado Fernández, H., Montero-Fernández, I., Martín-Vertedor, D., Yadav, A., & Aleman, R. S. (2024). Physicochemical Characterization of Carao Honey Flour (*Cassia grandis*) and Its Effects on the Sensory Attributes in a Cookie. *Applied Sciences*, 14(17), 7502.
- Hernández A. (2009). Actividad de agua en los alimentos. Instituto de Farmacia y Alimentos, Universidad de La Habana, Cuba. 37 pp.
- Kabila B, Sidhu MC, Ahluwalia AS. (2017). Phytochemical Profiling of Different *Cassia species* (Review). *International Journal of Pharmaceutical & Biological Archives*, 8(2): 12-20.
- Lafourcade PA, Rodríguez A J, Escalona AJ, & Fuenzalida C. (2014). State of the art in *Cassia grandis* L. f. (Cañandong). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 19(1):21-28.
- Lagarto, A., & Guerra, M. I. (2000). Toxicidad aguda oral de 3 formas farmacéuticas a partir de *Cassia grandis* L. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 5(2), 68-70.
- Maddela, N. R., & García, L. C. (Eds.). (2021). Innovations in biotechnology for a sustainable future. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer.
- Maldonado, S. A. S., Alemã, R. S., Fuentes, J. A. M., & da Conceição, M. (2020). Determination of total phenolic compounds, antioxidant activity and nutrients in Brazil nuts (*Bertholletia excelsa* HBK). *Journal of Medicinal Plants Research*, 14(8), 373-376.
- Manzanares, R. A. (2012). Determinación de hierro total en el fruto de *Cassia grandis*. Tesis de pregrado, Licenciatura en Química, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Managua, Nicaragua.

- Marcía Fuentes, J., Chavarría Carrión, L., & Zumbado, H. (2019). Análisis del proceso de harina de yuca, sobre las propiedades sensoriales y nutricionales del casabe (Artículo Profesional). *Nexo Revista Científica*, 32(01), 88–93.
- Marcía Fuentes, J., Montero Fernández I, Zumbado H, Lozano Sánchez J, Santos Alemán R, Navarro Alarcón M, Borrás Linares I, Saravia S. (2020a). Quantification of Bioactive Molecules, Minerals and Bromatological Analysis in Carao (*Cassia grandis*). *Journal of Agricultural Science*; 12 (3); 88-94.
- Marcía Fuentes J, Montero Fernández I, Saravia S, Varela I, Silva C, Hernandez F, *et al.* (2020b). Physical-Chemical Evaluation of the *Cassia grandis* L. as Fortifying Egg Powder. *Journal of Agricultural Science*; 12 (8); 277-282.
- Marcía-Fuentes, J., Santos-Aleman, R., Borrás-Linares, I., Sánchez, J.L. (2021). The Carao (*Cassia grandis* L.): Its Potential Usage in Pharmacological, Nutritional, and Medicinal Applications. In: Maddela, N.R., García, L.C. (eds) *Innovations in Biotechnology for a Sustainable Future*. Springer, Cham.
- Marcia, J., Aleman, R. S., Montero-Fernández, I., Martín-Vertedor, D., Manrique-Fernández, V., Moncada, M., & Kayanush, A. (2023a). Attributes of *Lactobacillus acidophilus* as Effected by Carao (*Cassia grandis*) Pulp Powder. *Fermentation*, 9(5), 408.
- Marcia, J.A.; Aleman, R.S.; Kazemzadeh, S.; Manrique Fernández, V.; Martín Vertedor, D.; Kayanush, A.; Montero Fernández, I. (2023b). Isolated Fraction of Gastric-Digested Camel Milk Yogurt with Carao (*Cassia grandis*) Pulp Fortification Enhances the Anti-Inflammatory Properties of HT-29 Human Intestinal Epithelial Cells. *Pharmaceuticals*, 16, 1032.
- Marcia, J., de Jesús Álvarez Gil, M., Fernández, H. Z., Montero-Fernández, I., Martín-Vertedor, D., Yadav, A., & Aleman, R. S. (2024a). Anti-Anemic and Anti-Dyspepsia Potential of Yogurt with Carao (*Cassia grandis*) in Rat Model. *Fermentation*, 10(4), 199.
- Marcia, J., Zumbado, H. M., Gil, M. Á., Martín-Vertedor, D., Montero-Fernández, I., Yadav, A., & Aleman, R. S. (2024b). Impact of Carao (*Cassia grandis*) on *Lactobacillus plantarum* Immunomodulatory and Probiotic Capacity. *Applied Microbiology*, 4(2), 704-719.
- Martinez, T., Aleman, R. S., Ruiz, F. D., Madrid, M. S., Marcia, J., Montero-Fernández, I., ... & Lozano, J. (2025).

Technological usage of ripe banana pulp for the development of a salad dressing. *Food Physics*, 2, 100027.

Medina, L., Aleman, R. S., Cedillos, R., Aryana, K., Olson, D. W., Marcia, J., & Boeneke, C. (2023). Effects of carao (*Cassia grandis* L.) on physico-chemical, microbiological and rheological characteristics of yogurt. *LWT*, 183, 114891.

Mendoza, E., Marcía, J., Chuquilín-Goicochea, R., López, J., & Areche, F. (2023). Obtención de un colorante natural a partir *Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón para su aplicación en yogurt. *Revis Bionatura*, 8 (2) 38.

Morón L, Caro Y, González R, Torres E. (2015). Obtención de un Sustituto de Chocolate tipo pasta usando pulpa de carao (*Cassia fistula* L.). *Información Tecnológica*, 26(6):39-44.

Monteali Paucar, D. A. (2023). Determinación de la vida útil de chocolates oscuros sin empaque con 70 por ciento de cacao peruano.

Montero-Fernández, I., Fernández, V. M., Pérez-Nevado, F., Saravia-Maldonado, S. A., Fuentes, J. A. M., & Martín-Vertedor, D. (2025). Enhancing Nutrient Profile and Reducing Acrylamide in California-Style Table Olives with *Cassia grandis* Fortification. *Foods*, 14(8), 1426.

Montero-Fernández, I., Marcía-Fuentes, J. A., Cascos, G., Saravia-Maldonado, S. A., Lozano, J., & Martín-Vertedor, D. (2022). Masking effect of *Cassia grandis* sensory defect with flavoured stuffed olives. *Foods*, 11(15), 2305.

Montero, I. F., Saravia, S. A. M., Santos, R. A., dos Santos, R. C., MarcÃa, J. A. F., & da Costa, H. N. R. (2020). Nutrients in Amazonian fruit pulps with functional and pharmacological interest. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 14(5), 118-127.

Nebesny E, y Zyzelewicz D. (2005). Effect of lecithin concentration on properties of sucrose-free chocolate masses sweetened with isomalt. *Eur Food Res Technol*. 220, 131-135.

Orwa, C. (2009). Agroforestry Database: a tree reference and selection guide, version 4.0. <http://www.worldagroforestry.org/sites/treedbs/treedatabases.asp>.

- Paz, D., Aleman, R. S., Cedillos, R., Olson, D. W., Aryana, K., Marcia, J., & Boeneke, C. (2022). Probiotic Characteristics of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* as Influenced by Carao (*Cassia grandis*). *Fermentation*, 8(10), 499.
- Pedroza H, Dicovskyi L. (2007). Sistema de análisis estadísticos con SPSS; Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA); Obtenido de <https://repositorio.iica.int/handle/11324/4106>. (Recuperado junio de 2023).
- Prada AL, Bitencourt AP, Amado JR, Cruz RA, Carvalho JC, & Fernández CP. (2016). Development and characterization of *Cassia grandis* and *Bixa orellana* nanoformulations. *Curr Top Med Chem*, 16 (18): 2057-2065.
- Prada AL, Keita H, de Sousa TP, Lima ES, Acho L, da Silva M, Carvalho J, & Amado J. (2019). *Cassia grandis* Lf nanodispersión is a hypoglycemic product with a potent  $\alpha$ -glucosidase and pancreatic lipase inhibitor effect. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 27 (2): 191-199.
- Prada AL, Achod LD, Keita H, Carvalho JC, & de Sousa TP. (2020). Development, pharmacological and toxicological evaluation of a new tablet formulation based on *Cassia grandis* fruit extract. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 16:100244.
- Barrios, C., & Victoire, A. (2018). Caracterización de las propiedades físicas y químicas de *Cassia grandis* (carao) y su aplicación para la elaboración de una galleta nutricional (Doctoral dissertation, Universidad del Valle de Guatemala).
- Ramos, B. E., Paz, V. J., & Ortiz, S. G. (2014). Determinación del contenido de hierro, saponinas y porfirinas en *Cassia grandis* L, procedente de Masaya, Chinandega y Jalapa durante el periodo de mayo 2013, abril del 2014 [Tesis Doctoral]. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN-LEON.
- Tabora, M. M., Aleman, R. S., Castro, A., Avila, A., Avila, D., Picha, D., Marcía, J... & Kayanush, A. (2024). *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus* Attributes as Influenced by Carao (*Cassia grandis*) Fruit Parts. *Bacteria*, 3(2), 42-58.
- Vallejo Torres C, Díaz R, Morales W, Soria Velasco R, Vera Chang J, Baren Cedeño C. (2016). Utilización del mucílago de cacao, tipo nacional y trinitario, en la obtención de jalea. *ESPAMCIENCIA*, 7(1): 51-58.

# Tercer Lugar

Cambio global en  
América Central: desafíos  
socioambientales y  
oportunidades para la  
cooperación regional

## **Autor**

Adolfo Quesada Román

## **Fecha de elaboración del artículo**

Noviembre de 2024

## **Palabras clave**

Cambio global; Cambio climático; Gestión integrada de recursos hídricos; Impactos ambientales; Desarrollo sostenible; Gestión ambiental

## Resumen

El cambio global presenta grandes desafíos en América Central, como el cambio climático, desastres hidrometeorológicos, contaminación y degradación del suelo. Este estudio analiza tendencias de 1990 a 2020 mediante variables socioambientales del Banco Mundial y EM-DAT. A través de matrices de correlación por país, se identifican relaciones complejas entre factores socioeconómicos y ambientales. Los resultados revelan como la diversificación económica, más allá de la agricultura, impulsa el crecimiento del PIB y reduce las emisiones de CO<sub>2</sub>, destacando el papel de la energía renovable en disminuir la huella de carbono. Además, resalta la gestión sostenible del agua dulce como clave para el desarrollo económico. Estos hallazgos son esenciales para informar políticas ambientales y estrategias de mitigación. Al adoptar enfoques integrados, América Central puede proteger su entorno natural y fomentar un desarrollo sostenible.

## Cuerpo del documento

### Introducción

A pesar de un creciente cuerpo de investigación sobre el cambio global, persisten brechas en la comprensión de los impactos socioambientales específicos en regiones vulnerables como Centroamérica (Rodríguez-Robayo et al., 2022). Este estudio aborda la falta de análisis integrales que combinen dimensiones ambientales y socioeconómicas en los siete países centroamericanos. El cambio climático ha intensificado la recurrencia de ciclones tropicales, lluvias torrenciales, sequías,

inundaciones y deslizamientos (Hagen et al., 2022; Quesada-Román, 2023), causando daños directos como pérdida de vidas e infraestructura, y efectos indirectos como degradación ambiental y pobreza (Quesada-Román y Campos-Durán, 2023; Panwar y Sen, 2019). Los esfuerzos de investigación suelen enfocarse en países o eventos aislados, dejando un vacío en análisis regionales que faciliten la cooperación transfronteriza. Factores como la apertura financiera y el consumo de energía agravan la degradación ambiental, mientras que el uso de energías renovables mitiga estos efectos (Koengkan et al., 2019). Las disparidades socioeconómicas exacerbaban la vulnerabilidad regional, destacando la necesidad de estrategias coordinadas y equitativas (Castellanos, 2022). Este documento propone un marco regional basado en análisis multivariados para fomentar una acción sostenible en Estados Miembros del SICA.

Enfrentar los desafíos del cambio climático en Centroamérica requiere estrategias como mejorar el monitoreo climático, zonificar peligros naturales y analizar sus implicaciones socioeconómicas. Esto incluye expandir redes de estaciones meteorológicas e hidrológicas para datos precisos (Hidalgo et al., 2013). Aunque se han propuesto estas estrategias, persisten brechas en la coordinación del intercambio transfronterizo de datos y respuestas colaborativas. El monitoreo de áreas propensas a desastres frecuentes como inundaciones y deslizamientos permite respuestas más efectivas (Acosta-Quesada y Quesada-Román, 2025; Garro-Quesada et al., 2023; Quesada-Román, 2021). La resiliencia climática también exige

capacitación comunitaria con enfoque de género y sostenibilidad (Van Niekerk et al., 2018).

Factores como la deforestación, contaminación y urbanización desordenada agravan la vulnerabilidad ambiental (Maria et al., 2017; Sánchez-Murillo et al., 2020). Además, la desigualdad socioeconómica aumenta la exposición a desastres y enfermedades (Ortiz et al., 2021). Países como Nicaragua y Guatemala enfrentan rápida deforestación, mientras que Costa Rica y Panamá mantienen coberturas forestales más estables (Redo et al., 2012). La contaminación ambiental causada por actividades industriales y domésticas afecta la salud y los ecosistemas (Ferronato y Torretta, 2019). El uso de la estadística exploratoria y el análisis multivariado son clave para entender estos procesos y promover cooperación regional. Este estudio utiliza análisis multivariados para evaluar desafíos ambientales y socioeconómicos transfronterizos, proponiendo estrategias de integración regional que involucren a sectores públicos, privados y académicos. Una acción conjunta puede mitigar los efectos del cambio global en esta región diversa y vulnerable (Hall, 1985). Esta iniciativa busca generar una línea de investigación y concientización política sobre la necesidad de mejores acciones y toma de decisiones respecto al cambio global con un enfoque regional de los Estados Miembros del SICA.

## Marco conceptual

El cambio global se refiere a una serie de transformaciones y fenómenos interconectados que afectan diversos aspectos del Sistema Tierra (Steffen

et al., 2005). Caracterizado por fenómenos como el cambio climático, la contaminación ambiental, la degradación del suelo y la pérdida de biodiversidad, el cambio global ha desencadenado importantes inestabilidades en el Sistema Tierra (Steffen et al., 2020). El cambio climático, con el aumento de las temperaturas globales, ha influido en el aumento de los desastres hidrometeorológicos a nivel mundial, incluyendo tormentas, sequías, inundaciones y deslizamientos (Abbass et al., 2022). Entre 2000 y 2018, los desastres de origen natural resultaron en pérdidas económicas por 3,085 billones de dólares, siendo los desastres hidrometeorológicos los que causaron los impactos más destructivos en la economía y la sociedad (Kaur y Sood, 2020). Además, la pérdida de biodiversidad promueve la destrucción del hábitat, la sobreexplotación de especies y la introducción de especies invasoras (Sage, 2020). Adicionalmente, la conversión de ecosistemas naturales en tierras agrícolas o urbanas impacta significativamente el equilibrio ecológico, contribuyendo al cambio climático y la pérdida de biodiversidad (Borrelli et al., 2022). Si bien el concepto de cambio global surgió originalmente de las investigaciones sobre el cambio climático, se utiliza para adoptar una visión más sistémica de los cambios ambientales observados en las últimas décadas.

## Metodología

### Entorno físico y socioeconómico de Centroamérica

La topografía y el clima de América Central desempeñan un papel crucial en su panorama ambiental y socioeconómico (Figura 1). El Arco

Volcánico Centroamericano, una cadena de volcanes que se extiende de Guatemala a Panamá, genera suelos fértiles ideales para la agricultura, pero también implica riesgos de erupciones volcánicas y terremotos (Alvarado et al., 2017; Gazel et al., 2021). Las costas del Pacífico y el Caribe sustentan ecosistemas ricos que favorecen las industrias pesquera y turística (Caviedes et al., 2020). Además, los climas variados, desde selvas tropicales hasta tierras altas templadas, diversifican las prácticas agrícolas y la gestión hídrica (Harvey et al., 2005; Imbach et al., 2017; Quesada-Román et al., 2022).

La susceptibilidad a desastres hidrometeorológicos define gran parte del contexto geográfico de la región. Huracanes, tormentas tropicales, inundaciones y deslizamientos son frecuentes, afectando zonas urbanas y rurales (Quesada-Román y Campos-Durán, 2023; Quesada-Román et al., 2024). Paralelamente, fenómenos como El Niño generan sequías severas que afectan la agricultura, la hidroelectricidad y el suministro de agua (Sánchez-Murillo et al., 2020). La interacción entre la topografía y los patrones climáticos subraya la importancia de estrategias de gestión y planificación enfocadas en la reducción de riesgos (Hidalgo et al., 2024).

Las economías de Centroamérica están estrechamente vinculadas a sus contextos geográficos y ambientales. Tradicionalmente agrarias, dependen de la agricultura, la silvicultura y la pesca, sectores vulnerables a la variabilidad climática (Ley et al., 2023). Cultivos como café, banano y caña de azúcar son clave para la exportación, pero requieren estabilidad

climática y suelos fértiles (Goebel y Montero, 2021). En las últimas décadas, la diversificación económica ha ganado importancia, con inversiones en energía renovable, turismo y manufactura para reducir la vulnerabilidad a choques ambientales (Alpízar et al., 2020). Sin embargo, la creciente urbanización en ciudades como Tegucigalpa, San Salvador, San José y Ciudad de Guatemala enfrenta desafíos significativos como la contaminación y la gestión de recursos (María et al., 2017).

La contaminación del aire, agua y suelo causada por actividades industriales, agrícolas y residuos mal gestionados representa riesgos para la salud y los ecosistemas (Ortiz et al., 2021). La degradación del suelo, impulsada por la deforestación y prácticas agrícolas insostenibles, afecta la productividad y la fertilidad del terreno (Guerra et al., 2020). Estas problemáticas subrayan la necesidad de políticas integradas que mitiguen sus impactos.

La energía renovable y la gestión sostenible del agua son fundamentales para abordar estos desafíos. La región tiene gran potencial en energías hidroeléctrica, geotérmica, eólica y solar, que promueven sostenibilidad y desarrollo económico (Dolezal et al., 2013). Además, prácticas de gestión hídrica, como riego eficiente y protección de cuencas, son esenciales para garantizar el acceso al agua, clave para la agricultura, industria y uso doméstico (Nathaniel et al., 2021). Priorizar estas estrategias puede fortalecer la resiliencia de Centroamérica y fomentar un desarrollo sostenible.

**Figura 1.** Principales aspectos geográficos de Centroamérica. Cartografía realizada por el autor.

### Bases de datos utilizadas

Este estudio analizó las dinámicas socioeconómicas y ambientales del cambio global en Centroamérica entre 1990 y 2020, enfocándose en siete países: Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá. Los datos se obtuvieron de la base del Banco Mundial (<https://data.worldbank.org/>), que ofrece parámetros consistentes entre países, complementados con datos sobre pérdidas por desastres de EM-DAT (CRED, 2023). Se seleccionaron inicialmente once variables que representan aspectos críticos del cambio global, incluyendo emisiones de carbono y energía, uso del suelo, recursos hídricos e impactos económicos. Estas variables incluyeron:

- PIB per cápita (USD constantes de 2015) (GDP)
- Superficie boscosa (% del área terrestre) (FA)
- Tierra agrícola (% del área terrestre) (AL)
- Ingreso nacional neto ajustado per cápita (USD corrientes) (ANN)
- Emisiones de CO<sub>2</sub> (kt) (COKT)
- Emisiones de CO<sub>2</sub> (toneladas métricas per cápita) (COMT)
- Consumo de energía renovable (% del consumo total final de energía) (REC)
- Recursos internos renovables de agua per cápita (metros cúbicos) (RIF)
- Emisiones totales de gases de efecto invernadero (kt de CO<sub>2</sub> equivalente) (GGE)
- Rentas de recursos naturales (% del PIB) (NRR)
- Pérdidas económicas por desastres en miles de dólares (DL)

## Tendencias regionales

Para explorar la evolución temporal de variables clave, se realizó un análisis de series temporales utilizando las variables GDP, AL, COMT, REC, RIF, NRR y DL. Los datos anuales de cada país fueron agregados y visualizados mediante gráficos de líneas para resaltar patrones, fluctuaciones y posibles factores de cambio. Estas visualizaciones facilitaron la identificación de tendencias a largo plazo (por ejemplo, aumentos, disminuciones o estabilidad) y permitieron contextualizar estas tendencias dentro de dinámicas regionales como el crecimiento económico, los cambios en el uso del suelo, la adopción de energías renovables y la vulnerabilidad ante desastres.

Al contrastar las trayectorias de los países individualmente, el análisis reveló similitudes y diferencias regionales. Por ejemplo, Panamá y Costa Rica mostraron un crecimiento constante del PIB, mientras que Honduras y Nicaragua evidenciaron un desarrollo económico más lento. El uso de tierras agrícolas disminuyó en países en proceso de urbanización como Costa Rica y Panamá, pero se mantuvo estable en economías dependientes de la agricultura como Honduras. Las emisiones de CO<sub>2</sub> variaron significativamente, reflejando diferencias en los niveles de industrialización y las políticas energéticas.

## Análisis nacionales y subnacionales

Para abordar la multicolinealidad y garantizar la integridad del análisis, se realizó una evaluación del Factor de Inflación de la Varianza (VIF) y una matriz

de correlación. Las variables con alta multicolinealidad ( $VIF > 10$ ) o fuerte correlación ( $|r|$  cercano a 1) fueron excluidas, resultando en la eliminación de FA, ANN, COKT y GGE. Las variables restantes (GDP, AL, COMT, REC, RIF, NRR y DL) fueron consideradas las más relevantes debido a su representación directa de las transformaciones socioeconómicas y ambientales en Centroamérica.

Posteriormente, se generaron matrices de correlación para inspeccionar visual y estadísticamente las relaciones entre las variables retenidas, resaltando los cambios durante las últimas tres décadas a nivel nacional y regional. El análisis reveló interconexiones y tendencias críticas entre variables, proporcionando información sobre impactos ambientales y económicos en toda la región. Para mejorar la interpretabilidad, las variables se normalizaron utilizando el método de escalamiento min-max, estandarizando los valores en un rango de 0 a 1. Los valores normalizados permitieron una comparación directa entre variables y países, asegurando la comparabilidad sin priorizar una categoría sobre otra (por ejemplo, económica vs. ambiental). Por ejemplo, un valor alto de PIB refleja un mejor desempeño económico, mientras que un valor alto de REC indica una mayor dependencia de energía renovable.

## Resultados

### Análisis socioambiental a escala nacional

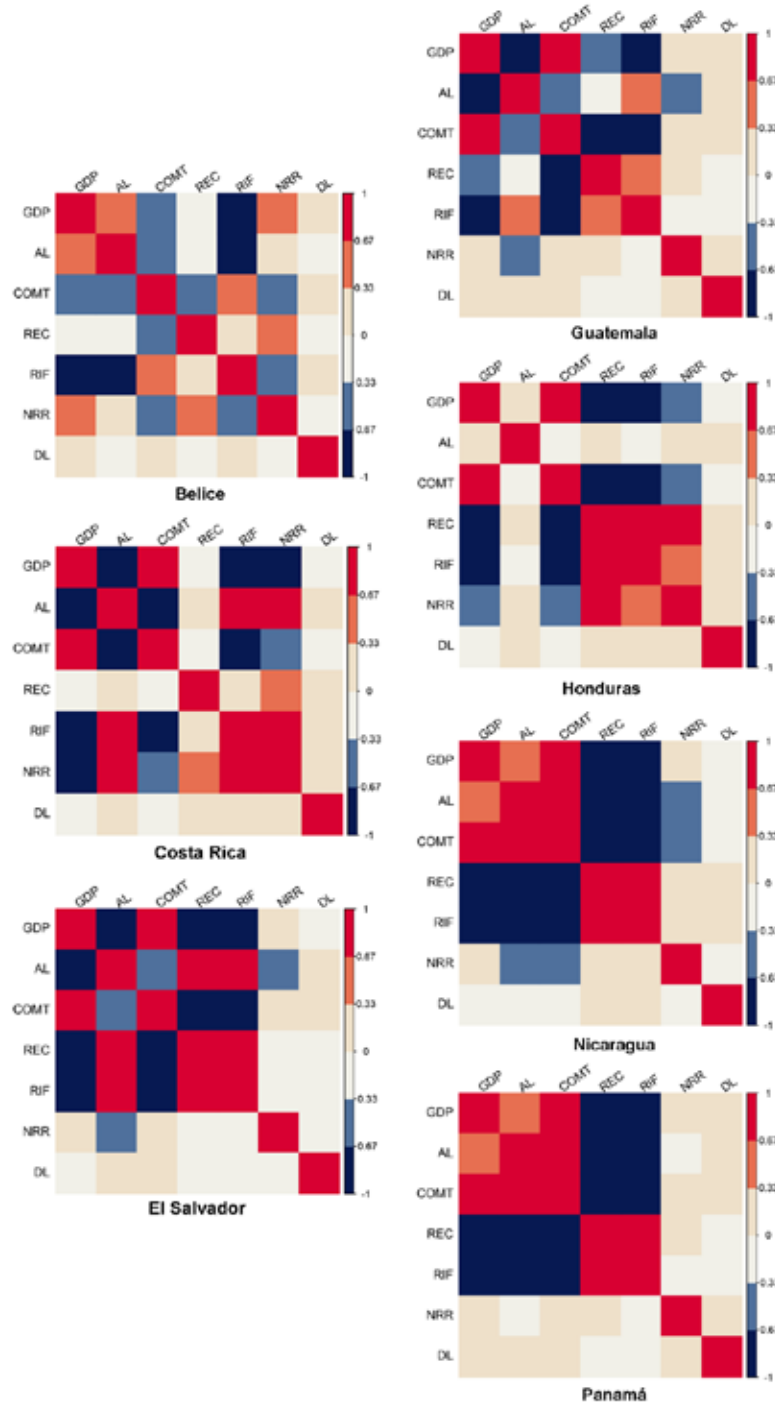
Los resultados de este estudio revelan patrones clave del cambio global en los siete países centroamericanos

entre 1990 y 2020. A través de un análisis detallado de la matriz de correlación, se identifican patrones significativos tanto a nivel regional como nacional, lo que proporciona una comprensión integral de las implicaciones del cambio global y sus desafíos (Figura 2). A nivel regional, la diversificación de la economía más allá de la agricultura está asociada con un mayor desarrollo económico. Esta tendencia es evidente en los países que han cambiado con éxito su enfoque económico de la agricultura a otros sectores, lo que se ha traducido en un mayor PIB per cápita. Sin embargo, este crecimiento económico también está vinculado a mayores emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que subraya la necesidad de equilibrar el crecimiento económico con la sostenibilidad ambiental (Figura 3).

El análisis destaca que la expansión del consumo de energía renovable está correlacionada positivamente con la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que indica que una transición a fuentes de energía renovables puede mitigar el impacto de las actividades económicas en el medio ambiente. Además, la gestión sostenible de los recursos de agua dulce surge como esencial para el desarrollo económico, dada su fuerte correlación positiva con el PIB per cápita. Esto subraya la importancia de las estrategias eficaces de gestión de los recursos hídricos para apoyar las actividades económicas y, al mismo tiempo, preservar la integridad ambiental (Figura 4a). Curiosamente, la variable de las pérdidas económicas en miles de dólares a causa de los desastres no muestra una fuerte relación positiva o negativa con otras variables ambientales o socioeconómicas en ninguno de

los países (Figura 2). Esto sugiere que el impacto económico de los desastres está influenciado por una compleja interacción de factores que va más allá del alcance de las variables estudiadas aquí, lo que pone de relieve la naturaleza multifacética de la resiliencia y la recuperación de los desastres.

**Figura 2.** Matrices de correlación de las distintas variables utilizadas en el análisis por país. PIB per cápita (dólares constantes de 2015) (GDP), Tierras agrícolas (% de la superficie terrestre) (AL), Emisiones de CO2 (toneladas métricas per cápita) (COMT), Consumo de energía renovable (% del consumo final total de energía) (REC), Recursos internos de agua dulce renovables per cápita (metros cúbicos) (RIF), Rentas totales de recursos naturales (% del PIB) (NRR), Pérdidas económicas en miles de dólares por desastres (DL).



Fuente propia a partir de los resultados del análisis.

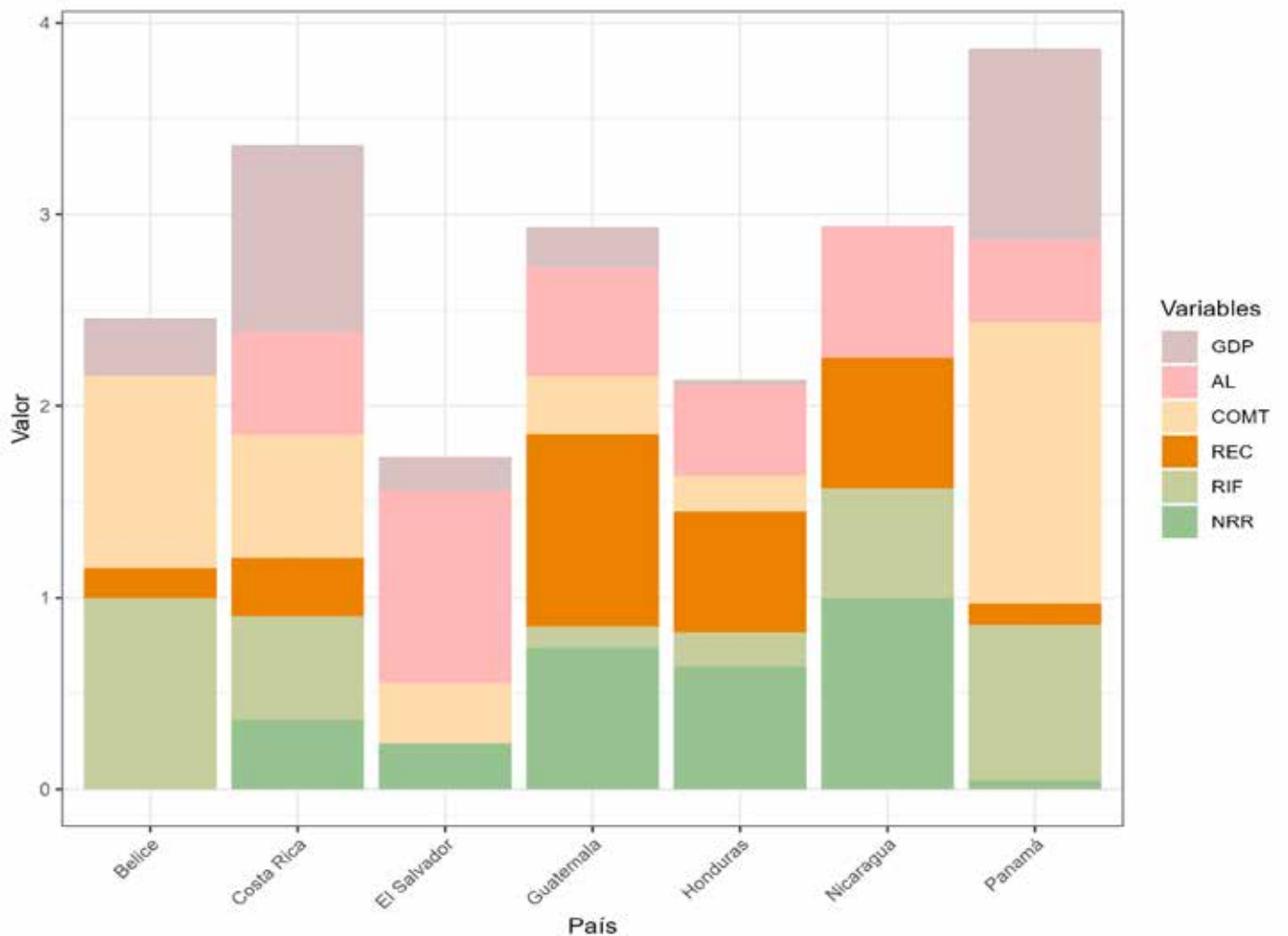
Los resultados específicos de cada país muestran particularidades y paralelismos interesantes entre los países (Figura 3). Belice muestra una fuerte correlación negativa entre los recursos internos renovables de agua dulce y el PIB per cápita. Este hallazgo pone de relieve el papel fundamental de los recursos de agua dulce en el desarrollo económico, destacando la necesidad de prácticas de gestión sostenible del agua para asegurar el crecimiento económico a largo plazo. Costa Rica muestra una correlación positiva entre las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita y el PIB per cápita, lo que indica que el desarrollo económico en el país está asociado con mayores emisiones. Esta relación subraya la importancia de implementar políticas verdes y promover la energía renovable para equilibrar el crecimiento económico con la sostenibilidad ambiental (Figura 4b). Al igual que Costa Rica, El Salvador muestra una correlación positiva entre las emisiones de CO<sub>2</sub> y el PIB per cápita. Esto sugiere que a medida que El Salvador continúa desarrollándose económicamente, hay un aumento correspondiente en las emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que requiere estrategias para disociar el crecimiento económico de la degradación ambiental.

La fuerte correlación negativa entre las tierras agrícolas y el PIB per cápita en Guatemala sugiere que una fuerte dependencia de la agricultura puede obstaculizar el desarrollo económico. Diversificar la economía y reducir la dependencia de la agricultura podría fomentar un mayor crecimiento económico y la sostenibilidad. Nicaragua muestra una fuerte correlación negativa entre el consumo de energía renovable y las emisiones de CO<sub>2</sub>. Esto indica que

aumentar la proporción de energía renovable en la matriz energética del país podría ayudar a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y mejorar la sostenibilidad.

En Honduras, las correlaciones positivas entre las tierras agrícolas, el PIB per cápita y las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita indican que el aumento de las tierras agrícolas tiene un leve impacto en el desarrollo económico, pero también conduce a mayores emisiones. Este hallazgo destaca la necesidad de prácticas agrícolas sostenibles que respalden el crecimiento económico sin exacerbar la degradación ambiental. En Panamá, al igual que en Honduras, existen correlaciones positivas entre las tierras agrícolas, el PIB per cápita y las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita. Esto subraya la importancia de equilibrar la expansión agrícola con los esfuerzos de sostenibilidad ambiental para mitigar los impactos adversos del aumento de las emisiones. Los resultados indican que, si bien el desarrollo económico es crucial para la región, debe equilibrarse con los esfuerzos de sostenibilidad ambiental para mitigar los impactos negativos de las emisiones de CO<sub>2</sub>. El consumo de energía renovable y la gestión sostenible de los recursos hídricos surgen como factores clave para promover la salud económica y ambiental (Figura 4c).

**Figura 3.** Gráfico de barras apiladas con las variables más influyentes normalizadas de 0 a 1, destacando sus influencias en cada país centroamericano. PIB per cápita (dólares constantes de 2015) (PIB), Tierras agrícolas (% de la superficie terrestre) (AL), Emisiones de CO2 (toneladas métricas per cápita) (COMT), Consumo de energía renovable (% del consumo final total de energía) (REC), Recursos internos de agua dulce renovables per cápita (metros cúbicos) (RIF), y Rentas totales de recursos naturales (% del PIB) (NRR).



Fuente propia a partir de los resultados del análisis.

**Figura 4.** Los tres principales desafíos del cambio global que requieren atención urgente en Centroamérica: Gestión sostenible del agua (izquierda); Diversificación económica y sostenibilidad ambiental (centro); y Energía renovable y reducción de emisiones (derecha).



**Créditos:** Fátima Retana (Diseñadora gráfica).

### Variabilidad subnacional y dinámica socioambiental

El análisis revela importantes interdependencias en los factores ambientales y socioeconómicos de Centroamérica, como la vulnerabilidad compartida a los desastres hidrometeorológicos y la dependencia de economías basadas en recursos naturales. Estos puntos en común subrayan la importancia de la cooperación regional para desarrollar estrategias conjuntas de reducción del riesgo de desastres, gestión de recursos y desarrollo económico. Los resultados sugieren que los países de la región se beneficiarían de acciones políticas coordinadas que aprovechen las fortalezas colectivas y aborden los desafíos transfronterizos.

Para profundizar la comprensión de cómo los impactos del cambio global se manifiestan de manera diferente dentro de las regiones de un país, se realizó una capa adicional de análisis a nivel subnacional utilizando ejemplos puntuales. En Guatemala, el departamento de Petén muestra un patrón contrastante en comparación con el promedio nacional. Si bien el país en general muestra una correlación negativa entre las tierras agrícolas y el PIB per cápita, Petén exhibe una ligera correlación positiva. Esto sugiere que en las regiones con una expansión agrícola en curso hacia

áreas forestales, las actividades económicas siguen estando fuertemente vinculadas a la agricultura, a diferencia de otras regiones en transición hacia economías más diversificadas. Se observaron patrones similares en Costa Rica, donde las provincias de Limón, Guanacaste y San José muestran dinámicas diferentes en cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub> y el crecimiento económico. Limón, que depende en gran medida del turismo y las actividades portuarias, tiene un menor crecimiento de las emisiones per cápita en comparación con el promedio nacional, mientras que Guanacaste y San José, con su importante base agrícola y urbana, se alinean más estrechamente con las tendencias nacionales.

En Honduras, por un lado, los departamentos de Cortés y Tegucigalpa muestran mayores emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita en relación con el promedio nacional, impulsadas por sus actividades industriales y la expansión urbana, lo que pone de relieve la necesidad de estrategias específicas de reducción de emisiones. El departamento de Olancho, por otro lado, refleja la tendencia nacional de expansión de las tierras agrícolas que se correlaciona con un crecimiento modesto del PIB, lo que destaca la importancia de las prácticas agrícolas sostenibles. En Belice, el Distrito de Belice muestra una fuerte correlación negativa entre la disponibilidad de recursos hídricos y el PIB per cápita, impulsada por la alta dependencia del turismo y la agricultura, que requieren un uso intensivo del agua. En contraste, el Distrito de Cayo muestra un uso más equilibrado del agua, lo que sugiere que las políticas de conservación del agua podrían adaptarse regionalmente para abordar necesidades específicas.

En El Salvador, las áreas urbanas del departamento de San Salvador muestran una correlación positiva significativa entre el crecimiento económico y las emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que subraya la necesidad de políticas verdes urbanas. El departamento de Ahuachapán, con su enfoque en la agricultura, sigue la tendencia nacional de dependencia agrícola, lo que indica la necesidad de iniciativas de diversificación. De manera similar, en Panamá, las provincias de Panamá Oeste y Panamá, con su rápida urbanización y crecimiento industrial, muestran un marcado aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita, lo que requiere intervenciones sólidas de planificación urbana. Mientras tanto, las provincias rurales de Bocas del Toro o Chiriquí, con su dependencia de la agricultura, reflejan el patrón nacional de uso de la tierra agrícola en correlación con el crecimiento económico, lo que sugiere la necesidad de estrategias de desarrollo sostenible. En Nicaragua, el departamento de Managua se destaca con una alta correlación positiva entre el crecimiento económico y las emisiones de CO<sub>2</sub>, impulsadas por las actividades industriales y urbanas, lo que destaca la urgencia de implementar controles de emisiones. Por el contrario, las numerosas regiones nicaragüenses muestran una mayor dependencia de la agricultura, lo que sugiere un enfoque diferenciado para la planificación económica regional.

## Discusión

### Factores socioeconómicos y ambientales claves en la región

El análisis revela que los factores socioeconómicos

y ambientales más críticos que se fusionan en Centroamérica incluyen la diversificación económica, las prácticas agrícolas, las emisiones de CO<sub>2</sub>, el consumo de energía renovable y la gestión de los recursos hídricos. La diversificación económica más allá de la agricultura se asocia positivamente con el crecimiento del PIB, pero también está vinculada al aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que enfatiza la necesidad de un enfoque equilibrado para el desarrollo. Este hallazgo se alinea con estudios previos que indican que, si bien el cambio de una economía basada en la agricultura a otros sectores puede impulsar el crecimiento económico, a menudo se produce a costa de una mayor degradación ambiental (Booth et al., 2020). El consumo de energía renovable surge como un factor fundamental, mostrando una fuerte relación inversa con las emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que subraya su potencial para promover el crecimiento sostenible. Esta tendencia resalta el papel fundamental que pueden desempeñar las fuentes de energía renovables, como la solar y la eólica, en la reducción de la huella de carbono al tiempo que respaldan las actividades económicas (Dolezal et al., 2013). Los recursos hídricos, representados por los recursos internos renovables de agua dulce per cápita, también son cruciales, lo que pone de relieve la dependencia de la región de una gestión eficaz del agua para el desarrollo económico. La gestión sostenible de los recursos hídricos es esencial para mantener el equilibrio entre las necesidades económicas y la preservación del medio ambiente (Hidalgo, 2021).

## Impactos futuros del cambio climático sobre las variables estudiadas

Los impactos futuros del cambio climático probablemente exacerbarán los desafíos existentes en la región. El aumento de la frecuencia e intensidad de los desastres hidrometeorológicos, como inundaciones, sequías y huracanes, ejercerán presión sobre los sistemas socioeconómicos y ambientales (Zorn, 2018). Se espera que estos eventos se vuelvan más severos con el cambio climático, causando interrupciones significativas en la infraestructura, la agricultura y los medios de vida (Strobl, 2012). A medida que avanza el cambio climático, la productividad agrícola podría verse aún más comprometida, afectando la seguridad alimentaria y los medios de vida (Imbach et al., 2017). Esto podría conducir a un aumento de la pobreza y la migración, lo que estresará aún más el tejido socioeconómico de la región. Las emisiones de CO<sub>2</sub> pueden seguir aumentando si el crecimiento económico no se desvincula del uso de combustibles fósiles, lo que agravará el calentamiento global. Por lo tanto, es imperativo invertir en energía renovable, que desempeñará un papel aún más crítico, lo que requerirá inversiones sustanciales para compensar los impactos negativos del cambio climático. Los recursos hídricos serán cada vez más escasos, lo que requerirá estrategias de gestión innovadoras para garantizar la sostenibilidad y la resiliencia. Será esencial contar con medidas y tecnologías eficaces de conservación del agua para adaptarse al cambio climático y garantizar la disponibilidad de agua para todos los sectores (Huang et al., 2021).

## Implicaciones de las disparidades intranacionales para las intervenciones de política

El análisis subnacional revela que los impactos del cambio global no son homogéneos dentro de los países, lo que sugiere que las intervenciones de política deben adaptarse a las especificidades regionales. Por ejemplo, en áreas como Petén en Guatemala, el norte de Costa Rica, la península de Azuero en Panamá y Santa Rosa en Honduras, donde el crecimiento económico sigue estando estrechamente vinculado a la expansión agrícola, las políticas deben centrarse en prácticas agrícolas sostenibles e incentivos de conservación forestal para mitigar la degradación ambiental. En cambio, las regiones dedicadas a la agricultura y el turismo en toda América Central podrían beneficiarse de políticas que promuevan el turismo verde y la gestión costera sostenible, aprovechando las menores emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas con estas actividades. Estas estrategias específicas no solo abordarían los desafíos únicos que enfrentan las diferentes regiones, sino que también mejorarían la resiliencia nacional general al cambio global. Además, las disparidades observadas en la gestión de los recursos hídricos entre regiones como Guanacaste y el Valle Central en Costa Rica, Sula, Cortés y Tegucigalpa en Honduras, San Salvador, las provincias de Panamá Oeste y Panamá, y Managua resaltan la necesidad de esfuerzos localizados de conservación del agua. En regiones con escasez de agua, las inversiones en técnicas de riego eficientes y sistemas de recolección de agua de lluvia podrían mitigar significativamente los impactos de la variabilidad climática en la disponibilidad de agua.

## Cambios de política realistas para mitigar el cambio global

Los responsables de las políticas en Centroamérica deben adoptar un enfoque multifacético para abordar los desafíos que plantea el cambio global. Promover la diversificación económica debe ser una prioridad, alentando a sectores más allá de la agricultura, como la tecnología y los servicios, a reducir la dependencia de la agricultura y promover un crecimiento económico sostenible (Nakamura et al., 2024). Esta estrategia puede ayudar a mitigar el impacto ambiental asociado con la expansión agrícola y promover un desarrollo económico más equilibrado. Invertir en energía renovable es crucial, mejorando la infraestructura de energía renovable e incentivando su uso para ayudar a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y promover la sostenibilidad ambiental (Vanegas Cantarero, 2020). Los responsables de las políticas deben crear condiciones favorables para las inversiones en energía renovable a través de subsidios, incentivos fiscales y marcos regulatorios que respalden las iniciativas de energía limpia (Lu et al., 2020). Se debe desarrollar una gestión integrada de los recursos hídricos, con políticas integrales que prioricen la conservación, el uso eficiente y la protección de los recursos hídricos. Esto incluye medidas como la fijación de precios del agua, el reciclaje y el desarrollo de infraestructura para el uso y la distribución eficientes del agua. Mejorar la preparación para desastres mediante el fortalecimiento de los sistemas de alerta temprana, la resiliencia de la infraestructura y la preparación de las comunidades puede mitigar los impactos de los desastres relacionados con el clima

(Krichene et al., 2023; Alimonti y Mariani, 2024). La cooperación regional es esencial, y los países colaboran en iniciativas de políticas que aborden los desafíos ambientales transfronterizos y compartan las mejores prácticas. Los esfuerzos conjuntos en áreas como la gestión de cuencas hidrográficas, la respuesta a desastres y la adaptación al clima pueden generar beneficios significativos para todos los países involucrados (Karlsson et al., 2020).

### **Importancia del análisis regional para los estudios socioambientales y del cambio global**

La realización de análisis regionales utilizando datos específicos de cada país es vital para comprender la dinámica compleja del cambio global y las interacciones socioambientales (Abbass et al., 2022). Este enfoque permite obtener información contextual, lo que proporciona una comprensión matizada de cómo se manifiestan los fenómenos globales a nivel local, teniendo en cuenta contextos geográficos, climáticos y sociopolíticos únicos. Al examinar los datos a nivel regional, los investigadores y los responsables de las políticas pueden identificar vulnerabilidades y fortalezas específicas, lo que orienta las intervenciones específicas y la asignación de recursos. Los estudios comparativos entre países pueden destacar las mejores prácticas y los desafíos comunes, lo que fomenta las soluciones colaborativas (Hoffmann et al., 2020).

Se recomienda fortalecer el enfoque regional incorporando el contexto del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA), destacando el papel de sus

políticas e instancias en la gestión del cambio global. Este enfoque no solo amplía la perspectiva más allá del ámbito nacional, sino que permite que los hallazgos sean útiles y replicables entre los Estados Miembros del SICA. Por ejemplo, las iniciativas de energía renovable exitosas en un país pueden servir de modelo para otros, mientras que los desafíos compartidos, como la escasez de agua, pueden abordarse mediante estrategias conjuntas. Además, los conocimientos de los análisis regionales pueden informar las estrategias globales para el desarrollo sostenible, lo que contribuye a una comprensión y una acción más amplias sobre el cambio global. Al integrar los hallazgos de diversas regiones, los análisis globales pueden captar mejor la complejidad de los sistemas ambientales y socioeconómicos, lo que conduce a políticas y acciones globales más efectivas (Jung et al., 2021). Por último, este estudio subraya la importancia de integrar los factores socioeconómicos y ambientales en la planificación de políticas para abordar los desafíos multifacéticos del cambio global en Centroamérica. Las investigaciones futuras deben seguir perfeccionando estos análisis, considerando los datos y las tendencias emergentes, para apoyar el desarrollo sostenible y la resiliencia en la región y más allá.

Los resultados de este estudio ponen de relieve la naturaleza interconectada de los desafíos ambientales y socioeconómicos en América Central. Por ejemplo, la alta correlación entre las pérdidas económicas relacionadas con los desastres y la degradación ambiental en varios países indica que las políticas nacionales aisladas pueden ser insuficientes para

mitigar los efectos del cambio global. Por lo tanto, la cooperación regional es esencial para abordar estos problemas transfronterizos de manera eficaz. Los planes de acción conjuntos centrados en desafíos compartidos, como la expansión de la energía renovable y la reducción del riesgo de desastres, permitirían a los países aunar recursos, compartir conocimientos y desarrollar estrategias cohesivas que beneficien a toda la región. Asimismo, es crucial alinear estos esfuerzos con las estrategias e iniciativas regionales del SICA, lo cual fortalecería la articulación institucional y la implementación de políticas integradas frente al cambio global.

### Limitaciones del estudio

Si bien este estudio ofrece una visión integral de las dinámicas socioambientales en Centroamérica, es importante reconocer ciertas limitaciones. La disponibilidad y calidad de los datos varían entre países y años, lo que podría afectar la precisión de algunas comparaciones. Además, el uso de fuentes secundarias como el Banco Mundial y EM-DAT puede implicar sesgos en la recolección de datos originales. Asimismo, la normalización de variables, aunque útil para la comparabilidad, podría simplificar excesivamente algunas complejidades locales. Reconocer estas limitaciones permite fortalecer la transparencia del análisis y orientar futuras investigaciones hacia la mejora de metodologías y la integración de datos complementarios a escalas más detalladas.

## Conclusión

El cambio global impacta significativamente las dinámicas ambientales y socioeconómicas en Centroamérica, evidenciando diferencias y puntos comunes entre países que impulsan la cooperación regional de los Estados Miembros del SICA. Este análisis revela una fuerte correlación negativa entre la tierra agrícola y el PIB per cápita en Belice, Costa Rica, El Salvador y Guatemala, destacando la necesidad de diversificar sus economías para reducir la dependencia agrícola y fomentar el crecimiento sostenible. En Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala y Honduras, la correlación positiva entre emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita y PIB per cápita evidencia que el desarrollo económico aumenta las emisiones, subrayando la urgencia de políticas verdes eficientes. Por otro lado, en Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá, una correlación negativa entre consumo de energía renovable y emisiones de CO<sub>2</sub> refuerza la importancia de fomentar energías limpias para una sostenibilidad a largo plazo. Además, la correlación negativa entre recursos hídricos y PIB per cápita en varios países resalta la necesidad de políticas modernas de gestión hídrica para garantizar el desarrollo sostenible. La complejidad de correlacionar las pérdidas por desastres con otras variables refleja la exposición y vulnerabilidad de la región. Este estudio proporciona información clave para diseñar políticas que promuevan la diversificación económica y la sostenibilidad. Los hallazgos destacan que abordar los desafíos del cambio global requiere cooperación regional, integrando dimensiones ambientales, económicas y sociales. Esto permitirá a Centroamérica lograr un crecimiento equilibrado y preservar el medio ambiente, asegurando un futuro sostenible.

## Referencias

- Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H., & Younis, I. (2022). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(28), 42539-42559.
- Acosta-Quesada, M., & Quesada-Román, A. (2025). Landslide and flood risk assessment in a rapidly urbanizing municipality of Costa Rica. *Journal of South American Earth Sciences*, 152, 105330.
- Alimonti, G., & Mariani, L. (2024). Is the number of global natural disasters increasing?. *Environmental Hazards*, 23(2), 186-202.
- Alpizar, F., Saborío-Rodríguez, M., Martínez-Rodríguez, M. R., Viguera, B., Vignola, R., Capitán, T., & Harvey, C. A. (2020). Determinants of food insecurity among smallholder farmer households in Central America: recurrent versus extreme weather-driven events. *Regional Environmental Change*, 20, 1-16.
- Alvarado, G. E., Benito, B., Staller, A., Climent, Á., Camacho, E., Rojas, W., ... & Lindholm, C. (2017). The new Central American seismic hazard zonation: Mutual consensus based on up to day seismotectonic framework. *Tectonophysics*, 721, 462-476.
- Banco Mundial. (2023). Indicadores nacionales. World Bank Data. <https://data.worldbank.org/>
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J. E., Alewell, C., Wueper, D., Montanarella, L., & Ballabio, C. (2020). Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(36), 21994-22001.
- Booth, J. A., Wade, C. J., & Walker, T. W. (2020). *Understanding Central America: Global forces and political change*. Routledge.
- Castellanos, E. J. (2022). Central America in dire need of inclusive climate resilient development with support from the international community. *PLOS Climate*, 1(11), e0000105.
- Caviedes, V., Arenas-Granados, P., & Barragán-Muñoz, J. M. (2020). Regional public policy for integrated coastal zone management in Central America. *Ocean & Coastal Management*, 186, 105114.

- CRED (2023). EM-DAT: The Emergency Events Database - Disasters by Country, 2023. Database on Disasters. <https://www.emdat.be/>
- Dolezal, A., Majano, A. M., Ochs, A., & Palencia, R. (2013). The way forward for renewable energy in Central America. WorldWatch Institute, Washington DC. See: [www.worldwatch.org/way-forward-renewable-energy-central-america](http://www.worldwatch.org/way-forward-renewable-energy-central-america).
- Ferronato, N., & Torretta, V. (2019). Waste mismanagement in developing countries: A review of global issues. *International journal of environmental research and public health*, 16(6), 1060.
- Franzke, C. L., Ciullo, A., Gilmore, E. A., Matias, D. M., Nagabhatla, N., Orlov, A., ... & Sillmann, J. (2022). Perspectives on tipping points in integrated models of the natural and human Earth system: cascading effects and telecoupling. *Environmental Research Letters*, 17(1), 015004.
- Garro-Quesada, M. D. M., Vargas-Leiva, M., Girot, P. O., & Quesada-Román, A. (2023). Climate Risk Analysis Using a High-Resolution Spatial Model in Costa Rica. *Climate*, 11(6), 127.
- Gazel, E., Flores, K. E., & Carr, M. J. (2021). Architectural and tectonic control on the segmentation of the Central American volcanic arc. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 49(1), 495-521.
- Goebel, A., & Montero, A. (2021). Environmental History of Commodities in Central America. In *Oxford Research Encyclopedia of Latin American History*. 1-29 pp. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199366439.013.918>
- Guerra, C. A., Rosa, I. M., Valentini, E., Wolf, F., Filipponi, F., Karger, D. N., ... & Eisenhauer, N. (2020). Global vulnerability of soil ecosystems to erosion. *Landscape ecology*, 35, 823-842.
- Hagen, I., Huggel, C., Ramajo, L., Chacón, N., Ometto, J. P., Postigo, J. C., & Castellanos, E. J. (2022). Climate change-related risks and adaptation potential in Central and South America during the 21st century. *Environmental Research Letters*, 17(3), 033002.
- Hall, C. (1985). América Central como región geográfica. *Anuario de Estudios Centroamericanos*, 11(2), 5-24.
- Harvey, C. A., Alpízar, F., Chacón, M., & Madrigal, R. (2005). Assessing linkages between agriculture and biodiversity in Central America: Historical overview and future perspectives. *Mesoamerican & Caribbean Region*,

Conservation Science Program. The Nature Conservancy (TNC), San José, Costa Rica.

Hidalgo, H. G., Amador, J. A., Alfaro, E. J., & Quesada, B. (2013). Hydrological climate change projections for Central America. *Journal of Hydrology*, 495, 94-112.

Hidalgo, H. G. (2021). Climate variability and change in Central America: what does it mean for water managers?. *Frontiers in Water*, 2, 632739.

Hidalgo, H., Alfaro, E., & Quesada-Román, A. (2024). Flood projections for selected Costa Rican main basins using CMIP6 climate models downscaled output in the HBV hydrological model for scenario SSP5-8.5. *Hydrological Research Letters*, 18(1), 34-42.

Hoffmann, R., Dimitrova, A., Muttarak, R., Crespo Cuaresma, J., & Peisker, J. (2020). A meta-analysis of country-level studies on environmental change and migration. *Nature Climate Change*, 10(10), 904-912.

Huang, Z., Yuan, X., & Liu, X. (2021). The key drivers for the changes in global water scarcity: Water withdrawal versus water availability. *Journal of Hydrology*, 601, 126658.

Huang, J., Zhang, G., Zhang, Y., Guan, X., Wei, Y., & Guo, R. (2020). Global desertification vulnerability to climate change and human activities. *Land Degradation & Development*, 31(11), 1380-1391.

Imbach, P., Beardsley, M., Bouroncle, C., Medellín, C., Läderach, P., Hidalgo, H., ... & Donatti, C. I. (2017). Climate change, ecosystems and smallholder agriculture in Central America: an introduction to the special issue. *Climatic Change*, 141, 1-12.

Jung, M., Arnell, A., De Lamo, X., García-Rangel, S., Lewis, M., Mark, J., ... & Visconti, P. (2021). Areas of global importance for conserving terrestrial biodiversity, carbon and water. *Nature Ecology & Evolution*, 5(11), 1499-1509.

Kaur, M., & Sood, S. K. (2020). Hydro-meteorological hazards and role of ICT during 2010-2019: A scientometric analysis. *Earth Science Informatics*, 13(4), 1201-1223.

Koengkan, M., Santiago, R., Fuinhas, J. A., & Marques, A. C. (2019). Does financial openness cause the intensification of environmental degradation? New evidence from Latin American and Caribbean countries. *Environmental*

economics and policy studies, 21, 507-532.

Krichene, H., Vogt, T., Piontek, F., Geiger, T., Schötz, C., & Otto, C. (2023). The social costs of tropical cyclones. *Nature Communications*, 14(1), 7294.

Leal Filho, W., Kovaleva, M., Tsani, S., Țircă, D. M., Shiel, C., Dinis, M. A. P., ... & Tripathi, S. (2022). Promoting gender equality across the sustainable development goals. *Environment, Development and Sustainability*, 1-22.

Ley, D., Guillén Bolaños, T., Castaneda, A., Hidalgo, H. G., Girot Pignot, P. O., Fernández, R., ... & Castellanos, E. J. (2023). Central America urgently needs to reduce the growing adaptation gap to climate change. *Frontiers in Climate*, 5, 1215062.

Lu, Y., Khan, Z. A., Alvarez-Alvarado, M. S., Zhang, Y., Huang, Z., & Imran, M. (2020). A critical review of sustainable energy policies for the promotion of renewable energy sources. *Sustainability*, 12(12), 5078.

Maria, A., Acero, J. L., Aguilera, A. I., & Lozano, M. G. (Eds.). (2017). *Central America urbanization review: making cities work for Central America*. World Bank Publications.

Mausser, W., Klepper, G., Rice, M., Schmalzbauer, B. S., Hackmann, H., Leemans, R., & Moore, H. (2013). Transdisciplinary global change research: the co-creation of knowledge for sustainability. *Current opinion in environmental sustainability*, 5(3-4), 420-431.

Nathaniel, S. P., Nwulu, N., & Bekun, F. (2021). Natural resource, globalization, urbanization, human capital, and environmental degradation in Latin American and Caribbean countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 6207-6221.

Nakamura, J., Seager, R., Liu, H., Cottier, F., Puma, M. J., Wrathall, D. J., ... & Adamo, S. B. (2024). Recent trends in agriculturally relevant climate in Central America. *International Journal of Climatology*.

Oldeman, L.R. 1998. *Soil Degradation: A Threat to Food Security?* Report 98/01. The Netherlands, Wageningen, International Soil Reference and Information Centre. 14 pp.

Oliveira Souza, M. C., Rocha, B. A., Adeyemi, J. A., Nadal, M., Domingo, J. L., & Barbosa Jr, F. (2022). Legacy and emerging pollutants in Latin America: A critical review of occurrence and levels in environmental and food

samples. *Science of the Total Environment*, 848, 157774.

Ortiz, D. I., Piche-Ovares, M., Romero-Vega, L. M., Wagman, J., & Troyo, A. (2021). The impact of deforestation, urbanization, and changing land use patterns on the ecology of mosquito and tick-borne diseases in Central America. *Insects*, 13(1), 20.

Panwar, V., & Sen, S. (2019). Economic impact of natural disasters: An empirical re-examination. *Margin: The Journal of Applied Economic Research*, 13(1), 109-139.

Quesada-Román, A. (2021). Landslides and floods zonation using geomorphological analyses in a dynamic catchment of Costa Rica. *Revista cartográfica*, 102, 125-138.

Quesada-Román, A. (2022). Disaster risk assessment of informal settlements in the Global South. *Sustainability*, 14(16), 10261.

Quesada-Román, A. (2023). Priorities for natural disaster risk reduction in Central America. *PLOS Climate*, 2(3), e0000168.

Quesada-Román, A., Torres-Bernhard, L., Ruiz-Álvarez, M. A., Rodríguez-Maradiaga, M., Velázquez-Espinoza, G., Espinosa-Vega, C., ... & Rodríguez-Bolaños, H. (2022). Geodiversity, geoconservation, and geotourism in Central America. *Land*, 11(1), 48.

Quesada-Román, A., & Campos-Durán, D. (2023). Natural disaster risk inequalities in Central America. *Papers in Applied Geography*, 9(1), 36-48.

Quesada-Román, A., Pérez-Umaña, D., & Brenes-Maykall, A. (2023). Relationships between COVID-19 and disaster risk in Costa Rican municipalities. *Natural Hazards Research*, 3(2), 336-343.

Quesada-Román, A., Hidalgo, H., & Alfaro, E. (2024). Assessing the impact of tropical cyclones on economic sectors in Costa Rica, Central America. *Tropical Cyclone Research and Review*, 13(3), 196-207.

Redo, D. J., Grau, H. R., Aide, T. M., & Clark, M. L. (2012). Asymmetric forest transition driven by the interaction of socioeconomic development and environmental heterogeneity in Central America. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(23), 8839-8844.

- Rodríguez-Robayo, K.J.; Trujillo-Miranda, A.L.; Méndez-López, M.E.; Porter-Bolland, L.; Monzón-Alvarado, C.M.; Lla-mas-Torres, I.; ... Chan-Chuc, N. Socioecological conflicts in Mexico: Trends and gaps in the regional analysis. *Environmental Science & Policy* 2022, 127, 12-21.
- Sage, R. F. (2020). Global change biology: a primer. *Global Change Biology*, 26(1), 3-30.
- Sánchez-Murillo, R., Esquivel-Hernández, G., Corrales-Salazar, J. L., Castro-Chacón, L., Durán-Quesada, A. M., Guerrero-Hernández, M., ... & Terzer-Wassmuth, S. (2020). Tracer hydrology of the data-scarce and heterogeneous Central American Isthmus. *Hydrological Processes*, 34(11), 2660-2675.
- Steffen, W., Sanderson, R. A., Tyson, P. D., Jäger, J., Matson, P. A., Moore III, B., Oldfield, F., Richardson, K., Schellhuber, H.J., Turner II, B.L., & Wasson, R. J. (2005). *Global change and the earth system: a planet under pressure*. Springer Science & Business Media.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Schellnhuber, H. J., Dube, O. P., Dutreuil, S., Lenton, T.M., & Lubchenco, J. (2020). The emergence and evolution of Earth System Science. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(1), 54-63.
- Strobl, E. (2012). The economic growth impact of natural disasters in developing countries: Evidence from hurricane strikes in the Central American and Caribbean regions. *Journal of Development economics*, 97(1), 130-141.
- Van Niekerk, D., Nema-konde, L. D., Kruger, L., & Forbes-Genade, K. (2018). Community-based disaster risk management. *Handbook of disaster research*, 411-429.
- Vanegas Cantarero, M. M. (2020). Of renewable energy, energy democracy, and sustainable development: A roadmap to accelerate the energy transition in developing countries. *Energy Research & Social Science*, 70, 101716.
- Wei, T., Simko, V., Levy, M., Xie, Y., Jin, Y., & Zemla, J. (2017). Package ‘corrplot’. *Statistician*, 56(316), e24.
- Xie, H., Zhang, Y., Wu, Z., & Lv, T. (2020). A bibliometric analysis on land degradation: Current status, development, and future directions. *Land*, 9(1), 28.
- Zorn, M. (2018). Natural disasters and less developed countries. Nature, tourism and ethnicity as drivers of (de) marginalization: Insights to marginality from perspective of sustainability and development, 59-78.

# Mención Honorífica

La Biodiversidad como Impulsor del Turismo Rural Comunitario: Una Experiencia para el Desarrollo en Tola, Nicaragua

## Autor

Layo Rodrigo Leets Rodríguez

## Fecha

Diciembre, 2024

## Palabras clave

Biodiversidad, Turismo Rural Comunitario, Desarrollo Sostenible, Tola, Nicaragua.

## Resumen

Este artículo explora cómo el conocimiento de la biodiversidad del bosque tropical seco impulsa el turismo rural comunitario en Tola, Nicaragua. Utilizando la Evaluación Ecológica Rápida, se documentaron 198 especies, destacando Objetos de Conservación como el Mono Araña (*Ateles geoffroyi*), el Loro Nuquiamarillo (*Amazona auropalliata*), el Murciélago Espectral (*Vampyrum spectrum*) y hábitats clave, incluyendo zonas críticas de recarga hídrica. Las estrategias incluyen capacitación comunitaria, creación de Reservas Silvestres Privadas (RSP), diseño de senderos interpretativos y diversificación de actividades turísticas como el avistamiento de aves y comercialización de productos temáticos basados en la biodiversidad local. Estas iniciativas fomentan la conservación activa, enfrentan retos como la pérdida de biodiversidad y el cambio climático, generan ingresos adicionales y fortalecen la resiliencia local. El modelo ofrece lecciones replicables para Centroamérica, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

## Summary

This article explores how knowledge of the biodiversity in the tropical dry forest promotes community-based rural tourism in Tola, Nicaragua. Using the Rapid Ecological Assessment, 198 species were documented, highlighting Conservation Objects such as the Spider Monkey (*Ateles geoffroyi*), the Yellow-Naped Amazon (*Amazona auropalliata*), the Spectral Bat (*Vampyrum spectrum*), and key habitats, including critical water recharge zones. Strategies include community training, the creation of Private Wildlife Reserves (PWR), the design of interpretive trails, and the diversification of tourism activities such as birdwatching and the commercialization of thematic products based on local biodiversity. These initiatives foster active conservation, address challenges like biodiversity loss and climate change, generate additional income, and strengthen local resilience. The model offers replicable lessons for Central America, aligning with the Sustainable Development Goals (SDGs).

## Introducción

El bosque tropical seco de Nicaragua es uno de los ecosistemas más amenazados de Centroamérica, enfrentando desafíos críticos como la deforestación, los incendios forestales y la fragmentación del paisaje (Global Forest Watch). Este ecosistema alberga una biodiversidad única, adaptada a condiciones climáticas extremas y es fundamental para las comunidades rurales que dependen de sus recursos

para su sustento. Ante esta problemática, resulta imperativo desarrollar estrategias innovadoras que no solo impulsen la conservación de los recursos, sino que también generen beneficios socioeconómicos y sostenibles para las comunidades locales.

El turismo rural comunitario, basado en la biodiversidad, surge como una alternativa viable para promover el desarrollo sostenible en regiones rurales. Este modelo, implementado con éxito en diversas partes del mundo, combina la conservación de los recursos naturales con la generación de ingresos y la mejora de la calidad de vida de las comunidades. En Centroamérica, donde los ecosistemas se enfrentan a crecientes amenazas ambientales, el turismo sostenible puede desempeñar un papel crucial como motor de resiliencia ambiental y desarrollo económico sostenible.

En este contexto, Tola, un municipio en la región del Pacífico de Nicaragua, se posiciona como un caso de estudio relevante para explorar cómo la biodiversidad puede convertirse en un elemento estratégico para el turismo rural comunitario. Este artículo analiza las oportunidades que ofrece este enfoque para vincular la conservación de la biodiversidad con el desarrollo socioeconómico, destacando su potencial para abordar desafíos regionales como el cambio climático y la pérdida de biodiversidad.

Al promover una visión innovadora y sostenible del turismo, también contribuye a los lineamientos nacionales como el Plan Nacional de Lucha contra la Pobreza y para el Desarrollo Humano y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) respondiendo a la creciente

demanda de experiencias turísticas conscientes y respetuosas con el medio ambiente. Este enfoque tiene el potencial de sentar las bases para modelos replicables en otras regiones.

## Marco Teórico

La biodiversidad, definida como la variedad de formas de vida y ecosistemas que habitan la Tierra (Gonzalo, H. 1994), es un recurso fundamental para el desarrollo sostenible, particularmente en regiones rurales donde las comunidades dependen directamente de los servicios ecosistémicos (Ramírez-Suárez et al 2024; Trejo I, 2015). En el caso de los bosques tropicales secos, ecosistemas considerados entre los más amenazados de Centroamérica (Harcourt y Sayer 1996; Global Forest Watch), su conservación no solo garantiza la protección de especies nativas, sino que también contribuyen a la provisión de servicios clave como la regulación hídrica, la captura de carbono y la producción de medios para la vida en las comunidades.

El turismo rural comunitario se presenta como una estrategia que combina la valorización de la biodiversidad con la generación de ingresos y la conservación ambiental (Palomino 2016). Este modelo, alineado con los principios del ecoturismo, fomenta la participación activa de las comunidades locales, permitiéndoles convertirse en gestores de su patrimonio natural. Estudios en regiones como la Amazonía y el Sudeste Asiático han demostrado cómo esta combinación puede ser una herramienta efectiva para promocionar la conservación y aportar a la reducción de la pobreza (Stronza et al., 2007; Kirkby et al., 2010).

La Evaluación Ecológica Rápida (EER), utilizada en este estudio, es una metodología reconocida por su capacidad para recopilar información clave sobre biodiversidad en plazos reducidos (The Nature Conservancy, 2002). Este enfoque permite identificar Objetos de Conservación, como especies o hábitats de importancia, que pueden ser integrados en estrategias de desarrollo turístico. En el caso del turismo rural comunitario, los Objetos de Conservación, como especies emblemáticas o áreas de alto valor ecológico, se convierten en el eje de las actividades turísticas, generando un vínculo entre conservación y desarrollo económico.

Además, la conexión entre biodiversidad y resiliencia climática es central en la discusión actual sobre sostenibilidad. Los ecosistemas bien conservados no solo ayudan a mitigar los efectos del cambio climático, sino que también fortalecen la capacidad de las comunidades para adaptarse a las variaciones ambientales (Fonseca-González, W, et al 2019). Integrar estos elementos en modelos de turismo rural comunitarios, como el fomentado en Tola, refuerza el papel de la biodiversidad como pilar estratégico para el turismo rural comunitario ayudando a enfrentar desafíos globales como la pérdida de biodiversidad y el cambio climático.

## Metodología

### Diseño del estudio

El estudio fue diseñado utilizando la Evaluación Ecológica Rápida (EER), un método interdisciplinario que permite recopilar información clave sobre la

biodiversidad en un tiempo reducido. El alcance fue descriptivo y aplicado, enfocado en identificar elementos clave de la biodiversidad para integrarlos en modelos de turismo rural comunitario.

### Área de estudio

La investigación se realizó entre 2021 y 2022 en Tola, Rivas, Nicaragua, una región caracterizada por la presencia de bosque tropical seco. Se seleccionaron 27 fincas distribuidas en 11 comunidades: Iguana, Casco Urbano, Brito, Santo Domingo, Pedro Espinoza, San Antonio, Gigante 1, El Tambo, Asentamiento 23 de octubre, El Limón 2 y El Ojochal. Estas fincas fueron parte del proyecto Red de Microempresas de Turismo Rural Comunitario de Tola (REMITURCT) en este periodo, impulsado por el Instituto de Investigaciones y Consultorías Económicas y Sociales (ICES), que operó a través de cuatro rutas turísticas: Ruta La Estrella, Ruta El Tambo, Ruta El Guanacaste y Ruta Tierra de Flores.

### Selección de fincas y puntos de muestreo

Las fincas seleccionadas del proyecto REMITURCT garantizó la pertinencia y el acceso a áreas críticas de biodiversidad. Por cada finca, se delimitó el perímetro y se evaluó la disponibilidad de hábitats, permitiendo ubicar 52 puntos de muestreo distribuidos proporcionalmente según el tamaño del bosque o hábitat disponible.

### Variables

Entre las principales variables que se incluyeron se mencionan:

- Diversidad de comunidades de flora y fauna, enfocadas en los grupos taxonómicos de árboles, anfibios, reptiles (Squamata y Testudines), aves y mamíferos.
- Objetos de Conservación y amenazas a la biodiversidad. Las variables complementarias consideraron el conocimiento previo de la biodiversidad por los dueños de finca y las actividades u ofertas turísticas existentes.

## Procedimiento de recolección de datos

Se emplearon las siguientes técnicas por cada grupo taxonómico retomadas de los siguientes autores Sutherland, W. (2006). Ralph, J (1996); Mueller-Dombois, D., & Ellembeg, H. (1974); Aguilar-Garavito, M., & Ramírez, W. (2015).

- Flora: Los árboles fueron evaluados en cada punto de muestreo (20 x 50 m), considerando aquellos con un Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) igual o mayor a 15 cm.
- Murciélagos: Captura mediante redes de niebla de 12 x 2.5 m instaladas en áreas estratégicas.
- Mamíferos: Rastros basados en huellas, pelos y osamentas encontrados en los puntos de muestreo.
- Aves, Anfibios y Reptiles: Observación directa y técnicas adaptadas según las características del hábitat.
- Evaluación de Elementos Turísticos: estos fueron evaluados durante 18 talleres de capacitación participativa, mediante discusiones grupales y materiales didácticos diseñados para explorar la relación entre biodiversidad y turismo rural comunitario,

para ello se adoptó la metodología de participación ciudadana de Saenz A. (2014). Estos talleres abordaron desde conceptos básicos de biodiversidad y de turismo rural comunitario, su aplicación en la realidad hasta la presentación de los resultados del estudio.

## Colaboración y participación comunitaria

La metodología incluyó una articulación activa con la Alcaldía de Tola, el MARENA y universidades (UNAN-Managua y UNA), que contribuyeron en la organización de los talleres y la validación de datos. Además, se contó con la participación directa de las familias integrantes del proyecto REMITURCT, quienes aportaron conocimiento local y colaboraron en el proceso de muestreo.

## Resultados

### Conocimiento Previo y Percepción de la Biodiversidad por los Dueños de Fincas

Los talleres iniciales de capacitación evidenciaron que los dueños de fincas poseen un amplio conocimiento sobre la biodiversidad del bosque tropical seco, resultado de su interacción constante con el entorno natural y su experiencia directa en el manejo de sus tierras. Sin embargo, al solicitarles que seleccionaran especies para resaltar en sus propiedades como parte de las actividades turísticas, tendieron a priorizar especies comunes o no nativas de la región, como la urraca copetona (*Calocitta formosa*), el sinsonte (*Turdus grayi*), el guís (*Pitangus sulphuratus*), el malinche (*Delonix regia*) y el neem (*Azadirachta*

*indica*). Este patrón puede interpretarse como una identificación cultural y cotidiana con estas especies, que son más visibles o familiares en su entorno inmediato. Sin embargo, esta tendencia también evidencia una desconexión entre el potencial turístico de las especies emblemáticas nativas del bosque tropical seco y su percepción como recursos valiosos para atraer visitantes.

En cuanto a la oferta turística, solo 3 de las 27 fincas contaban con actividades dirigidas al turismo. Se destacan servicios de alimentación, cabalgatas, caminatas por la quebrada y preparación de comidas tradicionales. Aunque estas actividades responden a una demanda básica del turismo rural, ninguna integraba elementos identitarios relacionados con la biodiversidad local, dejando de lado oportunidades clave para enriquecer la experiencia del visitante y

fortalecer la identidad ambiental de las comunidades.

El análisis destaca la necesidad de reconectar a los propietarios con la biodiversidad autóctona como una estrategia para revalorizar sus fincas y transformar las ofertas turísticas. Incorporar especies nativas emblemáticas y características únicas del bosque tropical seco, no solo contribuye a diversificar las actividades turísticas, sino que también aporta a posicionar las fincas como destinos innovadores en el marco del ecoturismo. Con nuevas ofertas y atractivos turísticos que fortalecen al turismo rural comunitario generando ingresos adicionales a las familias, pero además este modelo permite que las comunidades locales desempeñen un rol activo como guardianes de su patrimonio natural, conectando la biodiversidad con el desarrollo humano, económico y contribuyendo al cumplimiento de los ODS.

### Imagen 1. Talleres de capacitación con integrantes del proyecto ICES-REMITURCT en el año 2022.



A: Taller impartido por la UNAN Managua para conocer aspectos metodológicos de la EER. B: Taller impartido por la UNA para resaltar los atractivos turísticos de cada finca. C y D: Talleres prácticos para reconocer los tipos de hábitat.

## Resultados del estudio ecológico.

### Riqueza de especies y relevancia turística

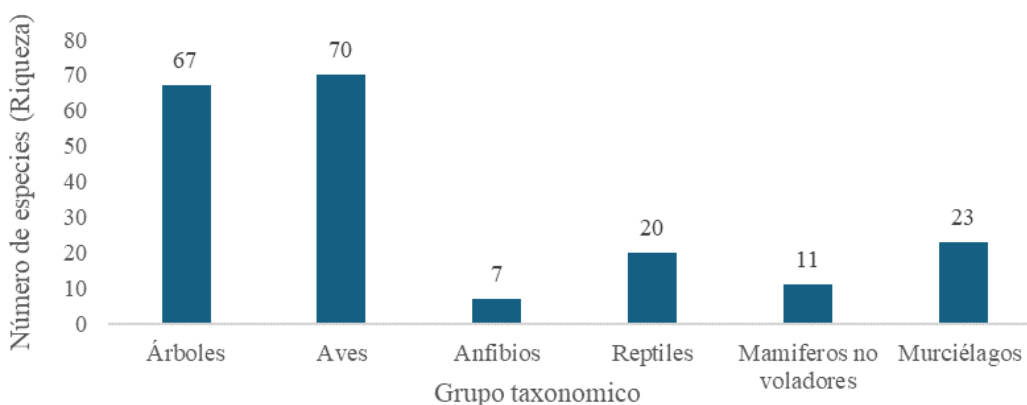
Se documentaron 198 especies distribuidas en diferentes grupos taxonómicos. Destacan los siguientes hallazgos:

- Árboles: 67 especies con 561 individuos, lo que representa el 64% de las especies reportadas para el bosque seco en Nicaragua (97 especies según Barrance et al., 2003).
- Anfibios: 8 especies con 230 individuos. La Rana Grillo del Pacífico (*Scinax staufferi*) y la Rana Leopardo (*Lithobates forreri*) son especies banderas por sus atractivos colores.
- Reptiles: 20 especies, incluyendo cuatro especies banderas de atractivo turístico: Anolis Papada Amarilla (*Anolis sericeus*), Perro Zompopo (*Coleonix mitratus*), Anolis

Común (*Anolis cupreus*), y Tortuga Sabanera (*Rhinoclemmys pulcherrima*). La Serpiente Coral (*Micrurus nigrocinctus*), listada en el Apéndice III de CITES, y la Tortuga Sabanera tienen protecciones nacionales específicas.

- Aves: 70 especies, de las cuales 26 tienen protección nacional o internacional. El Loro Nuquiamarillo (*Amazona auropalliata*) destaca por su inclusión en la categoría de Peligro de Extinción según la UICN.
- Mamíferos: Se registraron 11 especies no voladoras y 23 especies de murciélagos. Entre ellos, el Mono Araña (*Ateles geoffroyi*), en Peligro Crítico de Extinción, y el Murciélago Espectral (*Vampyrum spectrum*), clasificado como Casi Amenazado por la UICN, son prioritarios para la conservación.

**Gráfico 1.** Riqueza (S) por grupo taxonómico en el área de influencia directa del estudio (27 fincas)



**Imagen 2.** Algunas especies banderas o emblemáticas encontradas

A: Rana Leopardo (*Lithobates forreri*). B: Rana Grillo del Pacífico (*Scinax staufferi*). C: Perro Zompopo (*Coleonix mitratus*). D: Anolis Común (*Anolis cupreus*).

### Fincas con mayor biodiversidad

La comparación de la diversidad alfa permitió identificar las fincas con mayor biodiversidad:

- Finca El Espejo 2, comunidad el Tambo ruta turística El Tambo: Sobresale en árboles, aves, anfibios, mamíferos no voladores y murciélagos.
- Finca El Encanto, comunidad Gigante 1, ruta turística Tierra de Flores: Sobresale en árboles, aves y reptiles.
- Finca Veliz, comunidad San Antonio, ruta turística Tierra de Flores: Sobresale en árboles, aves y mamíferos no voladores.

- Tierra de Flores, comunidad San Antonio ruta turística Tierra de Flores: Sobresale en árboles, anfibios y murciélagos.
- El Guanacaste, comunidad Pedro Espinoza, ruta turística El Guanacaste: Sobresale en anfibios, reptiles y murciélagos.

### Objetos de Conservación identificados

Los objetos de conservación son aquellos elementos que por sus características o importancia queremos preservar y cuidar. Estos pueden ser: especies, comunidades ecológicas, hábitat, ecosistemas y/o

servicios ecosistémicos (Granizo et al., 2006). Se propusieron nueve objetos de conservación:

1. **Especies faunísticas:**

- Mamíferos: Mono Araña (*Ateles geoffroyi*), Mono Congo (*Alouatta palliata*), Mono Cara Blanca (*Cebus imitator*), y el Murciélago Espectral (*Vampyrum spectrum*).
- Aves: Halcón Collarejo (*Micrastur semitorquatus*) y Loro Nuquiamarillo (*Amazona auropalliata*).

2. **Hábitats prioritarios:**

- Hábitats de Importancia Ecológica. Identificados por sus características de desarrollo, complejidad, diversidad y conectividad.
- Hábitats de Importancia para el Turismo. Resaltan por su belleza escénica.
- Zonas Críticas de Recarga Hídrica, ubicados en las partes altas de las unidades hidrológicas.

**Imagen 3.** Especies Objetos de Conservación identificadas.



A: Mono Araña (*Ateles geoffroyi*). B: Mono Congo (*Alouatta palliata*). C: Mono Cara Blanca (*Cebus imitator*). D: Murciélago Espectral (*Vampyrum spectrum*). E: Halcón Collarejo (*Micrastur semitorquatus*). F: Loro Nuquiamarillo (*Amazona auropalliata*).

#### Imagen 4. Ejemplos de algunos Hábitat Objetos de Conservación identificados.



A: Hábitat de importancia turística, finca Xalteba, comunidad Pedro Espinoza. B: Zonas Críticas de Recarga Hídrica, Finca Los Tamarindos, comunidad El Ojochal. C: Hábitat de Importancia Ecológica. Finca El Espejo 2, comunidad el Tambo, notar la conectividad del bosque.

#### Distribución de Objetos de Conservación:

De las 27 fincas estudiadas, 16 contienen algún objeto de conservación (especies, hábitats o ambos). Las rutas con mayor presencia de objetos de conservación son:

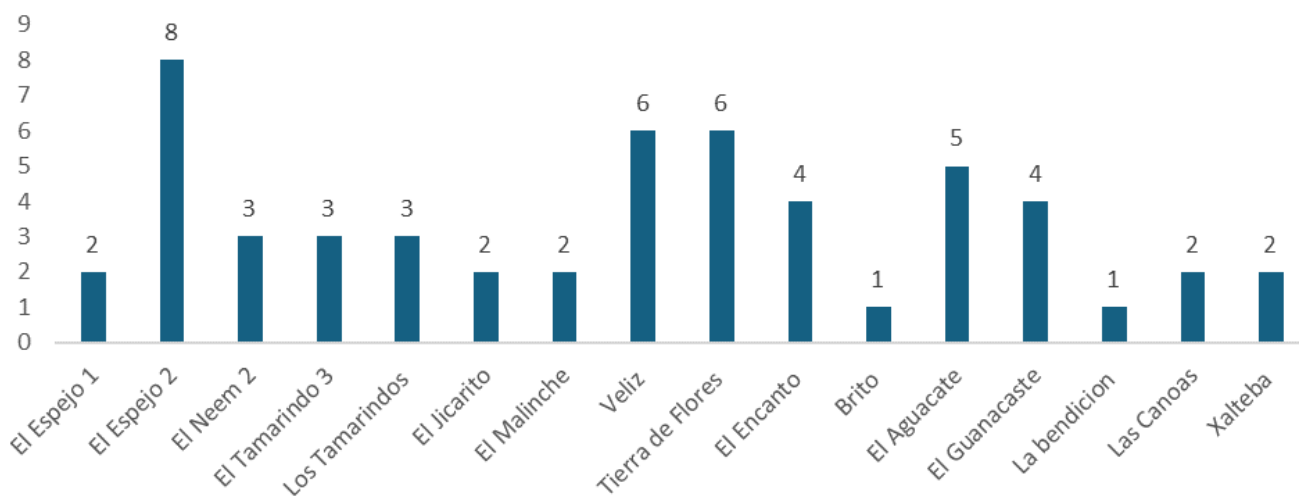
- Ruta turística El Tambo: 7 fincas (El Espejo 1, Espejo 2, El Neem 2, Los Tamarindos, El Tamarindo 3, El Jicarito, EL Malinche).

- Ruta turística El Guanacaste: 5 fincas (El Aguacate, El Guanacaste, La Bendición, Las Canoas y Xalteba).
- Ruta turística Tierra de Flores: 3 fincas (Tierra de Flores, Veliz, El Encanto).
- Ruta turística La Estrella: 1 finca (Brito).

El Gráfico 2 muestra las fincas con mayor cantidad de objetos de conservación. Entre estas sobresalen la finca El Espejo 2 y Tierra de Flores con 6 objetos de

conservación seguido de las fincas Veliz, El Encanto y El Aguacate con 4 objetos de conservación. Para consultas mas detalladas sobre los resultados y metodologías del estudios ecológico rápido puede consultarse en Leets, L. (2024).

**Gráfico 2.** Numero de Objetos de Conservación por finca



### Elementos de la Biodiversidad para Impulsar el Turismo Rural Comunitario

Como se observa en los resultados del estudio ecológico rápido, los elementos de la biodiversidad han funcionado para incrementar la oferta turística del proyecto ICES-REMITURCT considerablemente.

Estos elementos son:

Listas de especies de flora y fauna.

Especies Banderas o emblemáticas.

Objetos de conservación de fauna y hábitats.

Hábitats críticos con alta biodiversidad identificados por medio de la diversidad Alfa y Beta.

Estos elementos ofrecieron una valiosa base para fortalecer la oferta del turismo rural comunitario en el proyecto ICES-REMITURCT, destacando sies aspectos claves que conectan la biodiversidad con el desarrollo del turismo rural comunitario:

#### 1. Promoción Turística

Los 9 Objetos de Conservación identificados y 22 especies banderas representan herramientas clave para campañas promocionales. Estas estrategias incluyen el uso de redes sociales, afiches informativos y rotulaciones en fincas que resaltan especies emblemáticas. Un caso notable es la implementación de rotulaciones en cinco fincas del proyecto, destacando su biodiversidad individual significativa de cada finca, como se muestra en la imagen 5.

**Imagen 5.** Rotulaciones que resaltan especies banderas nativas del ecosistema.



A: Finca, La Perla de Guasacate, comunidad Guasacate. B: Finca El Neem 2, comunidad El Tambo. C: Finca El Mango, comunidad El Tambo. D: Finca Los Tamarindos RSP. Comunidad El Ojochal. E: Finca El Encanto RSP comunidad Gigante 1.

## **2. Venta de Artículos Temáticos**

Las especies banderas y Objetos de Conservación inspiran la creación de productos temáticos como camisetas, gorras y láminas educativas, generando ingresos adicionales para los propietarios. Este enfoque no solo impulsa la economía local, sino que también promueve la conservación a través de la valorización cultural y comercial de la biodiversidad.

## **3. Nuevos Atractivos para la oferta turística**

El estudio resalta especies emblemáticas como el Murciélago Espectral (*Vampyrum spectrum*), el Mono Araña (*Ateles geoffroyi*) y el Trogón Elegante (*Trogon elegans*), que pueden convertirse en puntos de atracción turística. Asimismo, los Hábitats de Importancia Ecológica identificados ofrecen oportunidades para el desarrollo de actividades como el turismo científico y la observación de fauna, ampliando el espectro de experiencias disponibles.

La transición hacia modalidades innovadoras como el ecoturismo y el avistamiento de aves es una de las principales contribuciones del estudio. De las 27 fincas analizadas, 15 tienen potencial para establecer senderos turísticos, destacando La Bendición y El Encanto por su riqueza arbórea, ideales para crear un Arboretum. Iniciativas como las prácticas de estudiantes de Turismo Sostenible de la UNAN-Managua en 2023 aportaron a la validación de estas propuestas.

## **4. Sostenibilidad Ambiental**

El análisis de amenazas identificó problemas críticos como incendios forestales, deforestación

y fragmentación del paisaje, afectando significativamente a 5 de los 9 Objetos de Conservación. Esta información es fundamental para diseñar estrategias de manejo sostenible e indicadores de monitoreo que aseguren la conservación de la biodiversidad en el contexto del turismo rural comunitario.

## **5. Formación de Guías Turísticos Locales**

La información generada en el estudio, que incluye listas de 198 especies documentadas (67 árboles, 70 aves, 20 reptiles, 8 anfibios, 11 mamíferos no voladores y 23 murciélagos), proporciona contenido esencial para capacitar a guías turísticos locales. Estos datos permiten a los guías explorar aspectos ecológicos, culturales y medicinales de la biodiversidad, enriqueciendo las experiencias de los visitantes. Adicionalmente, los análisis de diversidad alfa y beta destacan zonas prioritarias con mayor riqueza ecológica, útiles para diseñar rutas interpretativas.

## **6. Apoyo para la creación de Reservas Silvestres Privadas (RSP)**

El estudio identificó 10 fincas con potencial para ser reconocidas como Reservas Silvestres Privadas (RSP) por el MARENA, lo que garantizaría la conservación de la biodiversidad y fomentaría actividades turismo rural comunitario. Un caso ejemplar es la finca Los Tamarindos, que en el año 2023 obtuvo su certificación como RSP, consolidando un modelo exitoso de integración entre conservación y turismo rural comunitario.

**Imagen 6.** Acto formal por el MARENA para entregar el certificado de declaración como Reserva Silvestre Privada la finca Los Tamarindos



## Discusión

El desarrollo del turismo rural comunitario basado en la biodiversidad presente en las fincas del proyecto ICES-REMITURCT en Tola, Rivas, Nicaragua, ofrece una oportunidad para explorar estrategias de desarrollo sostenible que conectan la biodiversidad con la generación de ingresos. Este enfoque, aunque contextualizado en un ecosistema de bosque tropical seco, presenta paralelismos y contrastes con iniciativas similares en otras regiones, proporcionando una base sólida para discutir sus implicaciones a nivel regional y global.

Estudios en regiones como la Amazonía brasileña y el Sudeste Asiático han demostrado cómo la biodiversidad puede convertirse en un activo estratégico para el desarrollo económico mediante el ecoturismo. Por ejemplo, investigaciones realizadas en la Reserva Nacional Tambopata, Perú, destacan que la observación de especies emblemáticas como guacamayas y jaguares ha generado un incremento en los ingresos locales derivados del turismo sostenible (Kirkby et al., 2010). De manera similar, en, Indonesia, la conservación de los manglares se ha convertido en un motor para el ecoturismo,

atrayendo visitantes internacionales y creando empleo en comunidades rurales (Blanton et al., 2024). Sin embargo, en estas experiencias, las comunidades locales enfrentaron desafíos iniciales relacionados con la falta de infraestructura, capacitación y una comprensión limitada del potencial turístico de sus recursos naturales, desafíos también presentes en el contexto del proyecto ICES-REMITURCT en Tola.

A diferencia de algunas regiones donde la biodiversidad ya es reconocida como un recurso turístico, los resultados en Tola muestran que, aunque los dueños de fincas tienen un amplio conocimiento sobre la biodiversidad, inicialmente priorizan especies comunes y no nativas en sus actividades. Esto resalta la necesidad de capacitaciones previas y continuas enfocadas en valorar las especies nativas del bosque tropical seco, como el Mono Araña (*Ateles geoffroyi*) o el Murciélago Espectral (*Vampyrum spectrum*), no solo como recursos ecológicos, sino también como atractivos turísticos. Este hallazgo tiene implicaciones importantes para proyectos en otras regiones donde las comunidades pueden subestimar el valor turístico de sus ecosistemas locales.

El turismo rural comunitario basado en biodiversidad, como el desarrollado en Tola, presenta un enfoque innovador para abordar retos regionales relacionados con el cambio climático y la pérdida de biodiversidad. La conversión de fincas en Reservas Silvestres Privadas (RSP) fomenta la conservación activa de ecosistemas críticos, como los bosques secundarios y zonas críticas de recarga hídrica, que son fundamentales para mitigar los efectos del cambio climático a nivel local. Estudios en los bosques secundarios de tierras bajas

en los trópicos de Latinoamérica han demostrado que la conservación de áreas de alta biodiversidad no solo incrementa la resiliencia climática, sino que también genera servicios ecosistémicos esenciales, como la regulación del agua y la captura de carbono (Chazdon et al., 2016).

En el contexto de Tola, los incendios forestales y la fragmentación del paisaje representan amenazas inmediatas que pueden ser abordadas mediante estrategias integradas de conservación y turismo rural comunitario. La implementación de indicadores de monitoreo, como se ha realizado en el Parque Nacional Manuel Antonio en Costa Rica, puede ser una herramienta valiosa para evaluar el impacto ambiental y económico del turismo en las fincas.

La experiencia en Tola subraya que el turismo rural comunitario no solo es una herramienta para la conservación, sino también un mecanismo efectivo para generar ingresos y reducir la pobreza. Actividades como la creación de senderos interpretativos y la comercialización de productos temáticos han mostrado éxito en fortalecer las economías locales y fomentar una conexión más profunda entre los visitantes y las comunidades, como se ha observado en iniciativas similares en Amazonía (Stronza et al., 2007). Estas actividades también pueden fomentar una conexión más profunda entre visitantes y comunidades, promoviendo el turismo consciente y sostenible.

El modelo aplicado en Tola tiene el potencial de ser replicado en otras áreas del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA). En un contexto donde los países enfrentan desafíos comunes, como la

degradación de ecosistemas y la falta de oportunidades económicas en áreas rurales, la integración de la biodiversidad y el turismo rural comunitario puede convertirse en una estrategia regional para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Además, la colaboración entre comunidades, instituciones académicas y gobiernos, como se ha logrado en el proyecto ICES-REMITURCT en Tola, destaca la importancia de las alianzas estratégicas para garantizar el éxito de estos modelos.

Si bien el caso de Tola ha demostrado avances significativos, persisten desafíos relacionados con alcanzar una cultura ambiental sostenible, la consolidación de infraestructura y la promoción de mercados para el turismo rural comunitario. No obstante, estos retos también representan oportunidades para desarrollar políticas públicas que incentiven la conservación basada en el turismo rural comunitario.

## Conclusiones

El estudio realizado en el proyecto ICES-REMITURCT en Tola, Rivas, Nicaragua, resalta el potencial del turismo rural comunitario basado en biodiversidad como una herramienta estratégica para la conservación del bosque tropical seco y el desarrollo económico local. A partir de los resultados obtenidos, se concluyen los siguientes puntos:

1. Los talleres de capacitación desarrollados en la fase previa y durante el proyecto demostraron la importancia de dotar de conocimientos a los propietarios de fincas sobre el valor turístico

de la biodiversidad existente. Este enfoque permite diversificar y enriquecer las ofertas turísticas al incorporar elementos identitarios relacionados con la biodiversidad autóctona.

2. La identificación de 198 especies de flora y fauna, así como 9 Objetos de Conservación destaca la riqueza del ecosistema local, subrayando la necesidad de proteger hábitats críticos. Las iniciativas como el impulso para la creación de Reservas Silvestres Privadas (RSP) no solo fomentan la conservación, sino que también generan oportunidades económicas sostenibles para las comunidades.
3. Las fincas con mayor biodiversidad tienen un alto potencial para desarrollar nuevas modalidades de turismo, como el ecoturismo, turismo científico, entre otros que fortalecen la identidad ambiental del proyecto y promueven experiencias educativas para los visitantes.
4. Este modelo turístico presenta un enfoque viable para abordar desafíos regionales como el cambio climático y la pérdida de biodiversidad, al combinar la conservación de la biodiversidad con la generación de ingresos locales.
5. El modelo aplicado en Tola es replicable en otras áreas del Sistema de la Integración Centroamericana, especialmente en regiones que enfrentan problemas similares de degradación ambiental y pobreza rural. La colaboración interinstitucional y la participación comunitaria son factores clave para su éxito.

## Referencias

- Aguilar-Garavito, M., & Ramírez, W. (2015). *Monitoreo a procesos de restauración ecológica aplicado a ecosistemas terrestres*. Bogotá: Editorial Alexander von Humboldt.
- Barrance, A., et al. (2003). *Árboles de Centroamérica, un manual para extensionistas*. Turrialba, Costa Rica: OFI/CATIE.
- Blanton, A., Ewane, B. E., McTavish, F., Watt, M. S., Rogers, K., Daneil, R., Vizcaino, I., Novo Gomez, A., Pitumpe Arachchige, P. S., King, S. A. L., ... Mohan, M. (2024). Ecotourism and mangrove conservation in Southeast Asia: Current trends and perspectives. *Journal of Environmental Management*, 365, 121529. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121529>
- Chazdon, R. L., Broadbent, E. N., Rozendaal, D. M., Bongers, F., Zambrano, A. M., Aide, T. M., Balvanera, P., Becknell, J. M., Boukili, V., Brancalion, P. H., ... Poorter, L. (2016). Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in the Latin American tropics. *Science Advances*, 2(5), e1501639. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1501639>
- Fonseca-González, W., Villalobos-Chacón, R., & Rojas-Vargas, M. (2019). Potencial de mitigación del cambio climático de los ecosistemas forestales caducifolios en Costa Rica: modelos predictivos de biomasa y carbono. *Revista de Ciencias Ambientales*, 53(2), 111-131. <https://dx.doi.org/10.15359/rca.53-2.6>
- Granizo, Tarsicio et al., (2006): *Manual de planificación para la Conservación de Áreas, PCA, Quinto*: TNC y USAID.
- Global Forest Watch. "Tree cover in Area of interest". Accessed on 12/12/2024 from [www.globalforestwatch.org](http://www.globalforestwatch.org).
- Gonzalo, H. (1994). ¿Qué es la biodiversidad? *Lletres de batalla*, 62, 5-14.
- Harcourt, C. S., & Sayer, J. A. (1996). *The conservation atlas of tropical forest: The Americas*. Simon & Schuster.
- Kirkby, C. A., Giudice, R., Day, B., Turner, K., Velarde-Andrade, L. M., Dueñas-Dueñas, A., & Costa, M. (2010). Ecotourism finances biodiversity conservation in the Peruvian Amazon. *PLoS ONE*, 5(4), e9503. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0009503>

- Leets, L. (2024) Estudio de Biodiversidad del Bosque Tropical Seco para el desarrollo turístico de 27 fincas en 11 comunidades de Tola, Rivas. 2021-2022. Tesis de maestría casa de soberanía padre Miguel De Escoto Brockmann. UNAN-Managua.
- Mueller-Dombois, D., & Ellenberg, H. (1974). Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley & Sons, Inc.
- Palomino, B., Gasca, J., & López, G. (2016). El turismo comunitario en la Sierra de Oaxaca: Perspectiva desde las instituciones y la gobernanza en territorios indígenas. El Periplo Sustentable. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Ralph, J., Guepel, G., Pyle, P., Martin, T., DeSante, D., & Milá, B. (1996). Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-159. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture.
- Ramírez-Suárez, W. M., López-Chouza, J. C., Flores-Acosta, M. de los Á., Sánchez-Cárdenas, S., & Rodríguez-Morejón, P. L. (2024). Biodiversity and ecosystem services in agroecological systems: A review. *Pastos y Forrajes*, 47. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=So86403942024000100002&lng=es&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=So86403942024000100002&lng=es&tlng=en)
- Saenz A. (2014). La construcción de la participación ciudadana en el municipio de Tola. 1ra edición. Managua: PAVSA, 2014. 146 pp. ISBN: 978-99924-20-89-5.
- Stronza, A., Hunt, C. A., & Fitzgerald, L. A. (2007). The economic promise of ecotourism for conservation. *Journal of Ecotourism*, 6(3), 210-230. <https://doi.org/10.2167/joe177.0>
- Sutherland, W. (2006). *Ecological census techniques: A handbook*. Cambridge University Press. The Nature Conservancy. (2002). *Un enfoque en la naturaleza: Evaluaciones ecológicas rápidas*. Virginia, USA.
- Trejo, I. (2015). Bosques tropicales secos. *OKARA: Geografía en Debate*, 9(2), 261-274.

The logo features a stylized lowercase 'p' on the left, composed of a yellow vertical stem and a blue and purple circular top. To the right of the 'p' is the text 'Call for Papers' in a bold, sans-serif font, with 'Call for' in blue and 'Papers' in yellow. Further right is a vertical line, followed by the year '2024' in blue and the text 'Sexta edición' in a smaller blue font below it.

**Call for  
Papers** | **2024**  
Sexta edición







**Call for  
Papers** | 2024  
Sexta edición

